FONDO MEXICANO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA, A.C.
FMCN INSTITUCIÓN PRIVADA

Proyecto:
Comunidades Sostenibles para la Acción Climática en la Península de Yucatán (ACCIÓN Yucatán)

Consultoría: Potencial de mitigación de carbono en actividades relacionadas con carbono azul y cenotes

Nombre de la firma consultora: Resiliencia Azul A.C.

Número de contrato: D-58-5-23-0369 Resiliencia Azul

Número de producto: Producto 2 / total de productos: 4

Fecha de entrega: 06 de Noviembre de 2023

Descripción del producto: Informe detallado sobre el potencial de mitigación de las iniciativas de carbono azul en manglares, pastos marinos y otros humedales.

Resumen

Los ecosistemas marinos y costeros juegan un papel crucial en el secuestro y almacenamiento de carbono, además de mitigar el cambio climático a nivel global (Duarte *et al*., 2005a; Nelleman *et al*., 2009; Murray *et al*., 2011). El término carbono azul (CA) describe el carbono almacenado en hábitats costeros, como los bosques de manglares, las praderas de pastos marinos y las marismas de agua salada. Estos ecosistemas brindan beneficios cruciales de mitigación y adaptación al cambio climático, a través de su conservación, restauración y protección. Otros beneficios claves de la protección y restauración costeras incluyen la seguridad alimentaria, la protección de las zonas costeras a los eventos extremos hidrometeorológicos y la importancia como sitios de alta biodiversidad, que albergan especies de interés comercial para los medios de vida locales.

De acuerdo con la información de CONABIO 2020, en la Península de Yucatán (PY), se registra una superficie de manglar de 531,781.83 ha. De estás, 201,128.8 ha se distribuyen en Campeche; 232,668.6 en Quintana Roo y 97,984.4 en Yucatán (CONABIO 2020). De esta superficie el 0.5% de manglares en Campeche (1,048.0 ha) se encuentra en condición perturbada, asimismo, el 0.5% de los manglares en Quintana Roo (1,174.3 ha) y 0.95% para Yucatán (939.7 ha).

Para la presente consultoría se determinó que el potencial de mitigación de CO_{2e} por actividades de Aforestación, Revegetación y Reforestación (ARR por sus siglas en inglés) y Conservación y Restauración de Humedales (WRC por sus siglas en inglés) en ecosistemas de manglar de la Península de Yucatán es de 2,246,139 tCO_{2e}, considerando la superficie perturbada de manglares de 3,162 ha, reportada por la CONABIO en 2020. Para la superficie de manglar perturbado dentro de Áreas Naturales Protegidas (ANP) para los tres estados, se estimó un potencial de mitigación por actividades de ARR de 1,216,147 tCO_{2e} y para la superficie de manglar perturbado fuera de las ANP se estimó un total de 1,029,992tCO_{2e} resultados de actividades de Aforestación, Revegetación y Reforestación.

Complementario a las estimaciones del potencial de mitigación de las iniciativas de carbono azul en manglares, pastos marinos y otros humedales, se analizó la aplicabilidad de un estándar de certificación internacional de créditos de carbono; seleccionando el estándar VERRA[1] y la metodología aplicable al sector Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo (AFOLU por sus siglas en inglés).

Se analizaron variables de tipo ambiental, social, económico y legal como parte de la evaluación de factibilidad para la generación de créditos de carbono como herramienta financiera para la conservación y restauración de manglares en la PY; de igual forma, se realizó un análisis de riesgos y amenazas asociados a la implementación de iniciativas o de un proyecto agrupado regional de carbono basado en el mercado voluntario o regulado de carbono. Estos insumos permiten brindar elementos de decisión y priorización de actividades y estrategias para el proyecto ACCIÓN.

[1] https://verra.org

Contenido

RESUMEN 1

CONTENIDO 2

SIGLAS Y ACRÓNIMOS 1

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1 Carbono azul 1

1.2 Distribución de manglares en México 1

1.3 Almacenes de carbono en manglares 2

1.4 Manglares: mitigación y adaptación 3

1.5 Ecosistemas de carbono azul y mitigación de CO_2 3

1.6 Condición de los manglares 4

1.7 Usos del suelo y cambio de uso de suelo 5

1.8 Inventarios de carbono azul 7

1.9 Estimación de almacenes de carbono en manglares 7

1.10 Emisiones de CO_2 por USCUS en manglares 8

1.11 Niveles de certidumbre 9

2. ÁREA DE INTERÉS 11

3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS 13

4. HOJA DE RUTA PARA COLECTA DE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y BASES DE DATOS 1

4.1 Revisión de literatura asociada a almacenes de carbono y captura de CO_2 en manglares, pastos marinos y humedales 3

Manglares 3

Pastos marinos 6

Humedales 7

4.2 Análisis y caracterización ambiental de manglares y otros humedales en el área buffer de 20 km de la Península de Yucatán 9

4.3 Vegetación y uso del suelo de la zona costera asociada a manglares 9

4.4 Índice de conectividad 10

4.5 Áreas Naturales Protegidas 12
Análisis de las Áreas Naturales Protegidas y Vegetación y usos del suelo asociado a manglares e índice de conectividad dentro del área buffer de 20 km de la Península de Yucatán. 14

5. ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE PASTOS MARINOS 19

5.1 Áreas Naturales Protegidas 20

6. DEFORESTACIÓN (PÉRDIDA DE COBERTURA FORESTAL) 23

6.1 Estratificación 25

7. ALMACENES DE CARBONO EN MANGLARES 26

8. ALMACENES DE CARBONO EN PASTOS MARINOS 28

9. ALMACENES DE CARBONO EN OTROS HUMEDALES 29

10. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD AMBIENTAL Y SOCIAL PARA EL DESARROLLO DE UN PROYECTO AGRUPADO DE CARBONO AZUL BAJO ESQUEMAS DE MERCADOS EN PENÍNSULA DE YUCATÁN 34

10.1 Caracterización de ejidos en el área de interés 34

10.2 Iniciativas de carbono azul en propiedad social, selección y caracterización de sitios de interés 37

10.3 Mapeo de actores clave, incidencia y actividades en el territorio 41

Actividades económicas relacionadas con ecosistemas de carbono azul en PY 45

10.4 Análisis de la propiedad del carbono 48
Análisis de tenencia de la tierra de los ejidos potenciales 48
Características del uso del suelo ejidal 48

10.5 Análisis de superficie de manglares por núcleo ejidal 50

11. ANÁLISIS DE RIESGOS Y AMENAZAS DE LOS ECOSISTEMAS MANGLAR, PASTOS MARINOS Y OTROS HUMEDALES ASOCIADOS A UN PROYECTO DE MITIGACIÓN DE CO_2 EN PENÍNSULA DE YUCATÁN 52

11.1 Matriz de análisis de riesgos y amenazas 53

12. ANÁLISIS DE APLICABILIDAD DEL ESTÁNDAR DE CERTIFICACIÓN DE CARBONO EN MANGLARES 60

12.1 Descripción de estándares aplicables para proyectos de carbono azul 60
i. Verified Carbon Standard (VCS) 60
ii. Plan Vivo 61
iii. Carbon Action Reserve (CAR) 63

12.2 Matriz comparativa de aplicabilidad de los estándares 65
iv. Descripción de los criterios considerados en la revisión de los estándares del MVC 66

12.3 Selección del estándar 67
v. Metodología aplicada en la estimación de mitigación de carbono en manglares 68

13. RESULTADOS DE ESTIMACIÓN DE MITIGACIÓN DE CO_2 EN ECOSISTEMAS DE CARBONO AZUL 72

13.1 Ecosistemas de manglar 72

13.2 Resultados de estimaciones de remociones ARR-WRC (mitigación de CO_2) por estado 74

13.3 Resultados de estimaciones de emisiones evitadas REDD-WRC (mitigación de CO_2) por estado 77

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 79

II. REVISIÓN DE LITERATURA 81

III. ANEXOS 87

Anexo 1. Iniciativas de carbono azul bajo esquemas de MVC en diferentes estatus en la Península de Yucatán 87

Anexo 2. Enlaces a información sistematizada y empleada para los análisis de la consultoría 90

GLOSARIO 91

Índice de tablas

Tabla 1. Cuatro tipos de condiciones que pueden presentar los manglares bajo un mismo uso del suelo (forestal). Fuente: Elaboración propia. 5

Tabla 2. Clasificación de usos del suelo, la cual contempla 6 distintos usos del suelo y cambios de uso de suelo (IPCC, 2006). 6

Tabla 3. Revisión de insumos cartográficos para la región de la Península de Yucatán. 1

Tabla 4. Coberturas generadas para la priorización de sitios en la franja costera de la Península de Yucatán. 2

Tabla 5. Revisión de literatura sobre almacenes de carbono en manglares. 3

Tabla 6. Revisión de literatura sobre pastos marinos y servicios ecosistémicos. 6

Tabla 7. Revisión de literatura sobre humedales y secuestro de carbono. 7
Tabla 8. Superficies de coberturas de manglar, manglar perturbado y otros humedales en el área buffer de la PY. 10
Tabla 9. Superficie de manglar de acuerdo con la categoría del índice integral de conectividad, generado por CONABIO (2020), para la Península de Yucatán. 12
Tabla 10. Superficie de las ANP que se encuentran dentro del área buffer de la PY, superficie de manglares, manglares perturbados, otros humedales y pastos marinos. 12
Tabla 11. Superficie de manglar, manglar perturbado y otros humedales dentro y fuera de las ANP y total estatal. 14
Tabla 12. Superficie de categorías del índice integral de conectividad dentro de las ANP del área buffer de la PY. 16
Tabla 13. Superficie de manglar, manglar perturbado y otros humedales por municipio en el área buffer de la Península de Yucatán (dentro y fuera de ANP). 17
Tabla 14. Distribución y características generales de los pastos marinos en la PY. 19
Tabla 15. Superficie de pastos marinos en las ANP de la Península de Yucatán. 21
Tabla 16. Superficies de manglar en la PY. 24
Tabla 17. Resumen de las fuentes bibliográficas utilizadas para cada uno de los almacenes. 26
Tabla 18. Información sobre los principales componentes de almacenes reportados por Hernández y Moreno Casasola 2018. 29
Tabla 19. Superficie de otros humedales por estado en el área buffer de PY. 30
Tabla 20. Superficies de otros humedales en la PY. 31
Tabla 21. Superficies ejidales dentro de ANP 34
Tabla 22. Superficies y número de ejidos que están dentro de las ANP del área buffer de la PY. Fuente: PHINA, 2023 35
Tabla 23. Superficie de sitios priorizados de acuerdo con la cobertura de manglar con índice de conectividad muy bajo y bajo, manglar perturbado y otros humedales dentro de las ANP del área buffer en la PY. 39
Tabla 24. Mapeo y descripción de actores clave del proyecto ACCIÓN. 42
Tabla 25. las variables de interés desglosadas por sector. 45
Tabla 26. Superficies de tierras clasificadas en uso parcelado y uso común, número de ejidatarios y avecindados por Ejido en el área buffer de la PY. Fuente: PHINA, 2023. 48
Tabla 27. Análisis de riesgos y amenazas asociadas a la captura de carbono y emisiones evitadas en ecosistemas de manglar en la Península de Yucatán. 54
Tabla 28. Comparativo de requerimientos básicos en el mercado voluntario de carbono. 63
Tabla 29. Matriz comparativa de estándares de certificación y registro de créditos de carbono en MVC. 66
Tabla 30. Categorías elegibles de los proyectos de uso de suelo forestal. 68
Tabla 31. Metodologías combinables de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD) y Restauración y Conservación de Humedales (WRC) 70

Tabla 32. Superficie de manglar perturbado fuera de las ANP de cada estado de la PY y el plan anual de siembra (un año) en un escenario a 20 años 72

Tabla 33. Superficie de manglar perturbado de cada una de las ANP para cada estado de la PY y el plan anual de siembra en un escenario a un año. NA= no aplica S/D= sin dato 72

Tabla 34. Estimaciones de emisiones removidas por actividades de ARR y WRC para toda la superficie de manglar degradado en la península de Yucatán y las estimaciones de Unidades Verificadas de Carbono (VCU) a lo largo de 20 años 74

Tabla 35. Estimaciones de emisiones removidas por actividades de ARR y WRC para la superficie de manglar degradado fuera de ANP en la península de Yucatán y las estimaciones de Unidades Verificadas de Carbono (VCU) a lo largo de 20 años 74

Tabla 36. Estimaciones de emisiones removidas por actividades de ARR y WRC para la superficie de manglar degradado dentro de ANP en la península de Yucatán y las estimaciones de Unidades Verificadas de Carbono (VCU) a lo largo de 20 años 74

Tabla 37. Estimación de remociones por actividades de ARR y WRC para la superficie de manglar degradado fuera de las ANP en cada uno de los estados..... 74

Tabla 38. Estimación de remociones por actividades de ARR y WRC para la superficie de manglar degradado dentro de las ANP en cada uno de los estados. 75

Tabla 39. Superficies de manglar degradado, emisiones netas removidas, total de VCU y un promedio en un escenario de acreditación de 20 años para cada una de las ANP..... 75

Tabla 40. Estimaciones de emisiones evitadas por actividades REDD y WRC para la superficie de manglar conservado fuera de las ANP en cada uno de los estados 77

Tabla 41. Estimaciones de emisiones evitadas por actividades REDD y WRC para la superficie de manglar conservado dentro de las ANP en cada uno de los estados. 78

Índice de figuras

Figura 1. Ecosistemas de carbono azul. 1

Figura 2. Regionalización de manglares en México según CONABIO, 2015. Fuente: Herrera-Silveira *et al.*, 2020. 2

Figura 3. Reservas de carbono aéreas y subterráneas de bosques tropicales en México, donde se aprecia el alto contenido de carbono en manglares dependiendo de su tipo ecológico (Jaramillo *et al*., 2003, Hughes *et al*., 1999 y Adame *et al*., 2013). 3

Figura 4. Proceso de captura y almacenamiento de carbono en el ecosistema manglar. Fuente: Cisneros, 2020..... 4

Figura 5. Cuatro tipos de condiciones que puede presentar el manglar en un mismo uso del suelo (forestal). 5

Figura 6. Almacenes de carbono en ecosistemas de manglar según el IPCC, 2006. 7

Figura 7. Componentes del ecosistema de manglares para la cuantificación de la biomasa y los almacenes de carbono (Kauffman *et al*., 2013). 8

Figura 8. Niveles de certidumbre sobre almacenes de carbono en el sector USCUS. Fuente: Modificado de IPCC, 2006. 9

Figura 9. Objetivos específicos y actividades de la consultoría. 13

Figura 10. Índice de conectividad en la cobertura de manglar conservado en el área buffer de la Península de Yucatán. 11

Figura 11. Superficie de manglar, manglar perturbado y otros humedales dentro de las ANP del área buffer de PY. 15

Figura 12. Índice de conectividad del manglar dentro de las ANP en el área buffer de la Península de Yucatán. 17

Figura 13. Superficies de manglares en México. Fuente: CONABIO 2020. 24

Figura 14. Porcentaje de la superficie de manglar protegido a nivel nacional en México bajo el esquema de Área Natural Protegida en cuatro fechas de estudio (Troche-Souza *et al*., 2016) 25

Figura 15. Razones por las que los ecosistemas de manglar y otros humedales reconvierten su hábitat. Tomado de SEMARNAT, 2023. 52

Figura 16. Análisis de riesgos y amenazas de iniciativas de captura y emisiones evitadas en ecosistemas de carbono azul. 54

Figura 17. Tipo de actividades que es posible combinar dentro de la metodología VM0007 del estándar de VCS. 71

Índice de mapas

Mapa 1. Área del proyecto ACCIÓN. Elaborado por Resiliencia Azul AC. Nota: Los análisis relacionados con cenotes se reportan por separado. 12

Mapa 2. Cobertura de manglar, manglar perturbado y otros humedales en el área buffer de la PY. 10

Mapa 3. Áreas Naturales Protegidas dentro del área buffer de 20 km en la Península de Yucatán. 14

Mapa 4. Cobertura de pastos marinos en el área buffer de la PY. 20

Mapa 5. Cobertura de pastos marinos y ANP en el área buffer de la PY. 21

Mapa 6. Distribución de otros humedales dentro del área buffer en la PY. 31

Mapa 8.Distribución de ejidos dentro y fuera de las Áreas Naturales Protegidas que se ubican en el área de interés (buffer 20 km) en la Península de Yucatán. 37

Mapa 9. Distribución de sitios priorizados dentro de las ANP en el área buffer en Campeche y Yucatán. 38

Mapa 10. Distribución de los sitios priorizados dentro de las ANP en el área buffer en Yucatán y Quintana Roo. 39

Mapa 11.Distribución de ejidos en el área buffer de la Península de Yucatán 51

Mapa 12. iniciativas de carbono azul bajo esquemas de mercado en diversas etapas de desarrollo en PY 89

Siglas y acrónimos

AbE	Adaptación basada en ecosistemas
ACCIÓN	Comunidades sostenibles para la acción climática en la Península de Yucatán
AFOLU	Agricultura, Ganadería, Forestación y otros Usos del Suelo (por sus siglas en inglés)
ANP	Área Natural Protegida
APFF	Área de Protección de Flora y Fauna
ARR	Aforestación, Revegetación y Reforestación
C	Carbono
CA	Carbono azul
CAR	Carbon Action Reserve (por sus siglas en inglés)
CEMDA	Centro Mexicano de Derecho Ambiental A.C.
CINVESTAV	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
CIW	Conservación de Humedales Intactos (por sus siglas en inglés)
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CO_2	Dióxido de carbono
C_{org}	Carbono orgánico
DA	Datos de actividad
DRPYCM	Dirección Regional Península de Yucatán y Caribe Mexicano
ECA	Ecosistemas de Carbono Azul
ENES	escuela Nacional de Estudios Superiores
FE	Factores de Emisión
FMCN	Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza
FMO	Fundación Mexicana para el Océano
GEI	Gases de Efecto Invernadero
Ha	Hectárea
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPCC	Panel Intergubernamental del Cambio Climático (por sus siglas en inglés)
Km	Kilómetros
LGBN	Ley General de Bienes Nacionales
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LGVS	Ley General de Vida Silvestre
m^2	Metros cuadrados
mm	Milímetros
MARFund	Fondo para el Sistema Arrecifal Mesoamericano (por sus siglas en inglés)
MEA	Evaluación de Ecosistemas del Milenio (por sus siglas en inglés)
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
Mg	Megagramo
MRV	Monitoreo, Reporte y Verificación
N.C.P.A.	Nuevos Centros de Población Agrícola
N.C.P.E.	Nuevos Centros de Población Ejidal

NOM	Norma Oficial Mexicana
PDU	Programa de Desarrollo Urbano
PIB	Producto Interno Bruto
PHINA	Padrón e Historial de Núcleos Agrarios
PIB	Producto Interno Bruto
Plan Vivo	Estándar Plan Vivo
PN	Parque Nacional
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
PY	Península de Yucatán (Campeche, Quintana Roo y Yucatán)
RA	Resiliencia Azul A.C.
RAN	Registro Agrario Nacional
RB	Reserva de la Biosfera
REDD+	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación
SE	Servicios Ecosistémicos
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SMMM	Sistema de Monitoreo de Manglares de México
tCO_{2eq}	Toneladas de dióxido de carbono equivalente
UNAM	Universidad Autónoma de México
USCUS	Uso del Suelo y Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura
VCS	Verified Carbon Standard (por sus siglas en inglés)
VCU	Unidades Verificadas de Carbono (por sus siglas en inglés)
WRC	Wetland Restoration and Conservation (por sus siglas en inglés)
ZOFEMAT	Zona Federal Marítimo Terrestre

1. Introducción

1.1 Carbono azul

El carbono azul se centra en ecosistemas costeros próximos al mar, como los manglares, las marismas saladas y los pastos marinos. Se trata de ecosistemas inundables, humedales, caracterizados por altos almacenajes de carbono en suelo y alta productividad (Howard *et al*., 2014; Kauffman y Donato, 2012). Así, en el caso de los manglares, hasta el 80% del carbono total del sistema pertenece a carbono orgánico en el suelo (Adame *et al*., 2013). Para fines del presente análisis, la mayor parte de la información sobre ecosistemas de carbono azul (ECA) se enfoca en manglares, puesto que es el ecosistema donde se han centrado el mayor número de estudios y se cuenta con más información disponible.

Figura 1. Ecosistemas de carbono azul.

1.2 Distribución de manglares en México

México es el cuarto país en el mundo con mayor extensión de manglares. En 2020, la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO) reportó 905,086 hectáreas de manglar; distribuidos a lo largo de sus costas, clasificados en 5 regiones: 1) Pacífico Norte, 2) Pacífico Central, 3) Pacífico Sur, 4) Golfo de México y 5) Península de Yucatán. Asimismo, en el país se presentan cinco tipos ecológicos de manglar: 1) Chaparro, 2) Cuenca, 3) Franja, 4) Ribereño y 5) Petén, y se distribuyen cuatro especies de mangle: *Rhizophora mangle (*mangle rojo*), Laguncularia racemosa (*mangle blanco*), Avicennia germinans (*mangle negro*)* y *Conocarpus erectus (*mangle botoncillo*).*

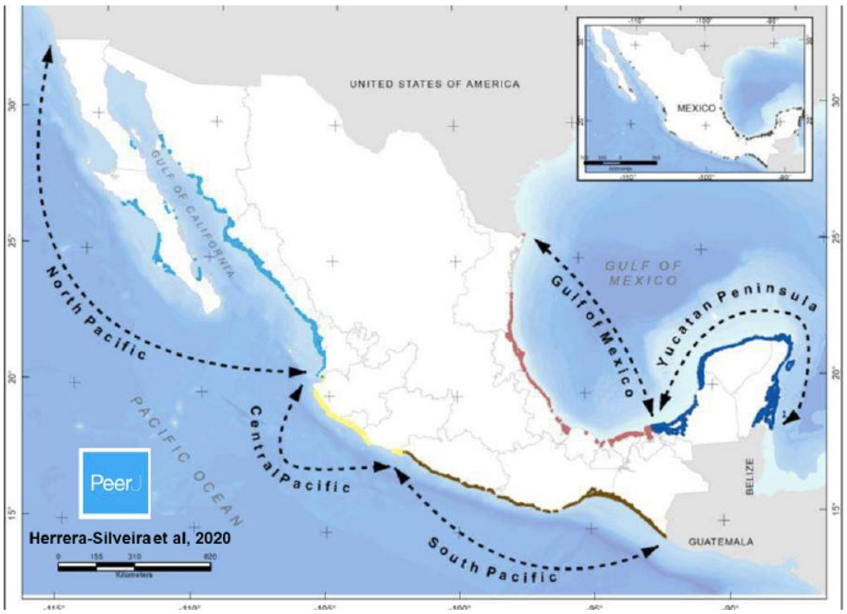


Figura 2. Regionalización de manglares en México según CONABIO, 2015. Fuente: Herrera-Silveira *et al.*, 2020.

1.3 Almacenes de carbono en manglares

Los manglares en México almacenan en promedio entre 450 y 500 Mg C ha^{-1} (Adame *et al*., 2018; Herrera-Silveira-Silveira *et al*., 2020), por lo que pueden almacenar cantidades aún mayores a 1,000 Mg C ha^{-1}, según lo reportado por Donato *et al*., (2011). Estos almacenes de carbono son mucho mayores con relación a las selvas húmedas perennifolias que almacenan 230-279 Mg C ha^{-1} y las selvas bajas con almacenes de 104-174 Mg C ha^{-1} (Masera *et al*., 2000). Por lo que, los manglares son considerados por sus tasas de crecimiento uno de los ecosistemas más productivos del planeta con acumulaciones de carbono que van de 10 a 12 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$ (Sasmito, 2019).

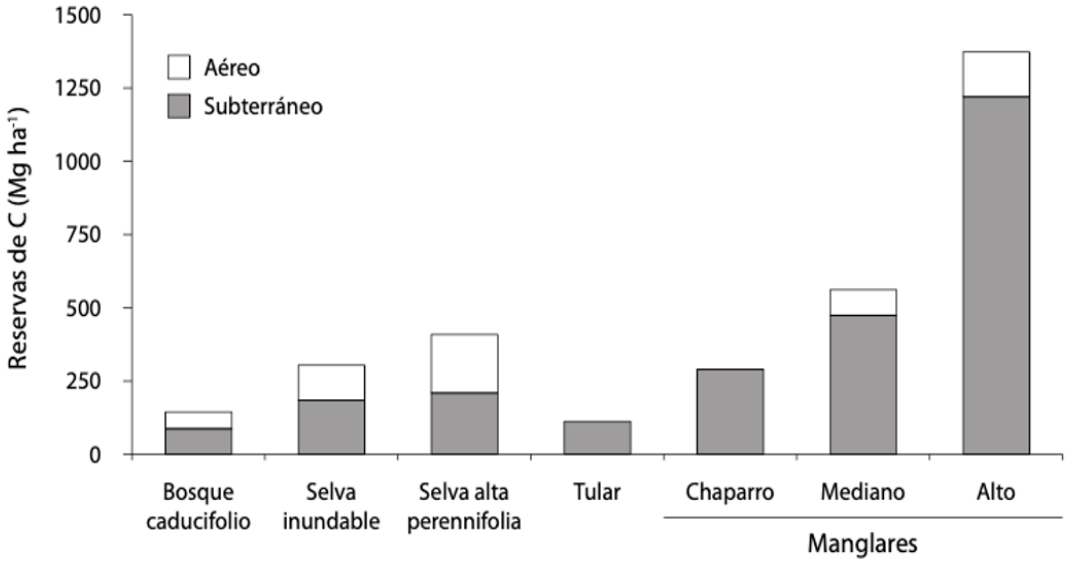


Figura 3. Reservas de carbono aéreas y subterráneas de bosques tropicales en México, donde se aprecia el alto contenido de carbono en manglares dependiendo de su tipo ecológico (Jaramillo *et al*., 2003, Hughes *et al*., 1999 y Adame *et al*., 2013).

1.4 Manglares: mitigación y adaptación

Además de las dinámicas de carbono y su rol como sumideros de carbono, función clave en la mitigación del cambio climático, los manglares, como ecosistemas de carbono azul proveen otros servicios ecosistémicos fundamentales como la protección costera contra tormentas y marejadas, sedimentación y detención del incremento del nivel medio del mar, seguridad alimentaria como áreas de crianza de peces comerciales en sus fases de alevines, sustento de biodiversidad, filtraje de contaminantes acuáticos, entre otros (Alongi, 2008).

Con relación al rol en la mitigación al cambio climático, los manglares, como todos los humedales del planeta, almacenan carbono en suelos desde el Holoceno. Las condiciones anaeróbicas de sus suelos inundados impiden la descomposición de la materia orgánica que se va acumulando en el tiempo (Gumbricht *et al*., 2017). Ante esto, los ecosistemas se conocen como bombas de carbono ya que la exposición del carbono del suelo a condiciones aeróbicas (por ejemplo, drenaje del agua para agricultura o construcción o alteración de drenaje por huracanes) los convierten en emisores netos de gases de efecto invernadero (CO_2).

El carbono descompuesto y emitido por el suelo en manglares no puede recuperarse, aunque se regenere el sitio porque es carbono que se lleva acumulando en los últimos 8,000-10,000 años. Así pues, para evitar emisiones por cambio de uso de suelo, la restauración ecológica de manglares son actividades fundamentales para estrategias de mitigación, principalmente por el alto carbono contenido en el suelo (Teutli *et al*., 2020).

1.5 Ecosistemas de carbono azul y mitigación de CO_2

Los ecosistemas de carbono azul eliminan el CO_2 de la atmósfera a través de la fotosíntesis, devuelven parte de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera a través de la respiración y la oxidación, y

almacenan el carbono restante en dos depósitos: biomasa viva (tanto sobre el suelo en la madera, las hojas y la vegetación subterránea en raíces) y carbono orgánico del suelo. La tasa de secuestro de carbono es la cantidad total de carbono que se agrega a la biomasa y al suelo anualmente. Estos ecosistemas suelen tener una vegetación madura que mantiene una biomasa constante, y todo lo captado termina enterrado en la reserva de carbono del suelo. Los ecosistemas de carbono azul son puntos calientes para el secuestro de carbono porque convierten el CO_2 en biomasa vegetal que se encuentra en ambientes de depósito, y los suelos tienen altas tasas de acumulación que dan como resultado el rápido entierro de materia orgánica en condiciones anóxicas, acumulando partículas de carbono tanto autóctonas como alóctonas (Kennedy *et al*., 2010; Saintilan *et al*., 2013; Donato *et al*., 2011). Las tasas anuales de secuestro de carbono varían en los diferentes hábitats costeros, como marismas o pantanos y manglares. El secuestro de carbono promedio es de 6 a 8 toneladas/CO_2e/ha/año. Los pastos marinos tienden a secuestrar carbono en aproximadamente 4 t CO_2e/ha/año (Lewis *et al*., 2009).

La mitigación de CO_2 se refiere a las acciones y las estrategias implementadas para reducir o evitar las emisiones de GEI en la atmósfera, con el fin de contrarrestar el cambio climático. Una de las formas de mitigación es mediante la reducción de las emisiones evitadas, es decir, evitar que los GEI sean liberados al ambiente. Por otro lado, la captura de carbono a través de la aforestación, revegetación y reforestación juega un papel crucial en la mitigación. Estas prácticas implican el establecimiento de árboles y vegetación en áreas previamente deforestadas o degradadas, lo que permite que estos ecosistemas actúen como sumideros de carbono, absorbiendo CO_2 de la atmósfera a través de la fotosíntesis y almacenándolo en la biomasa y en el suelo.

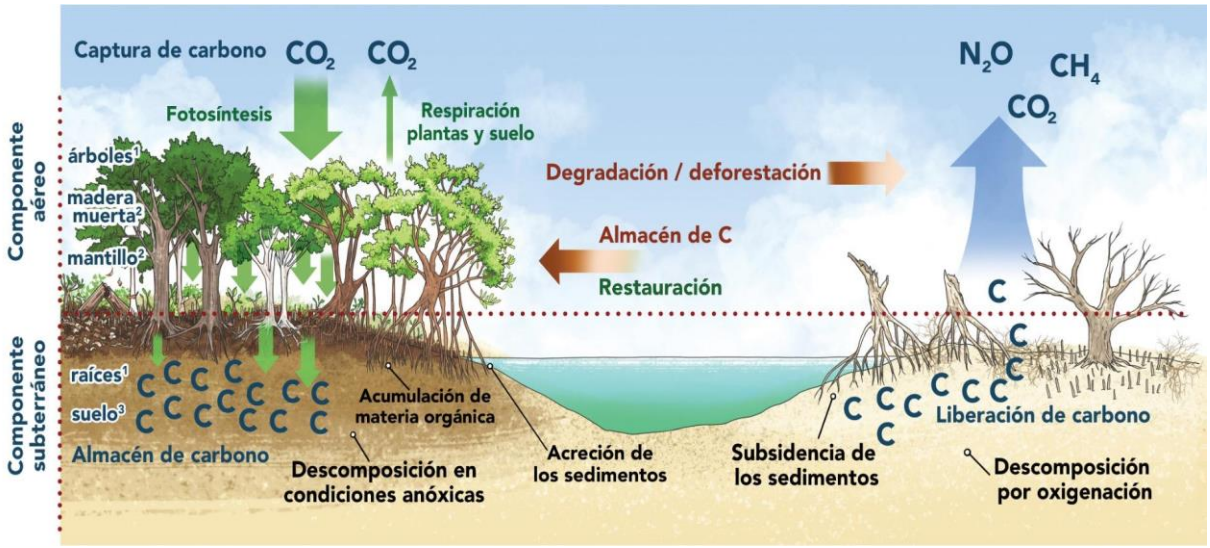


Figura 4. Proceso de captura y almacenamiento de carbono en el ecosistema manglar. Fuente: Cisneros, 2020.

1.6 Condición de los manglares

Los ecosistemas de manglar pueden presentar cuatro condiciones: 1) conservado, 2) degradado, 3) deforestado y 4) en regeneración (asistida o no asistida) (Tabla 1). Cada condición puede corresponder a tipos ecológicos diferentes, así como aspectos de hidrología y factores geomorfológicos, los cuales provocan variabilidad en los almacenes de carbono de su biomasa aérea, subterránea y de suelos (Herrera *et al.,* 2020).

Tabla 1. Cuatro tipos de condiciones que pueden presentar los manglares bajo un mismo uso del suelo (forestal). Fuente: Elaboración propia.

Condición	Descripción
1) Manglar conservado	Paisaje dominado por ecosistema de manglar con cobertura arbórea mayor a 75%.
2) Manglar degradado	Paisaje mayormente dominado por herbáceas pequeñas, troncos muertos, y algunos árboles vivos de manglar bajos (1.5-3 m) y con coberturas del dosel bajas (hasta 30%).
3) Manglar deforestado	Zonas sin vegetación arbórea, generalmente inundada, con alguna evidencia de árboles de manglar muerto (cobertura menor a 30%).
4) Manglar en regeneración	Paisaje dominado por ecosistema de manglar donde los árboles no alcanzan alturas mayores a 3 metros, pero con un porcentaje de cobertura del dosel de hasta 70%. La regeneración puede ser asistida por restauración ecológica, o no asistida como regeneración natural.

Figura 5. Cuatro tipos de condiciones que puede presentar el manglar en un mismo uso del suelo (forestal).

1.7 Usos del suelo y cambio de uso de suelo

El Panel Internacional para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) en 2006, generó una clasificación de usos del suelo, que contempla 6 distintos usos (Tabla 2). La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) es la institución designada a nivel nacional en lo que se refiere al Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) del sector Uso del Suelo y Cambio de Uso de Suelo (USCUS). Por lo que a partir del uso de información y herramientas de percepción remota monitorea cambios en las áreas forestales del país. Los niveles de referencia son utilizados como punto de referencia para evaluar el desempeño de cada país en la ejecución de las actividades de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) de acuerdo con la decisión 12/CP.17 de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC).

Resulta importante remarcar que los insumos de imágenes satelitales generados por la CONAFOR y basados en la cartografía de la Serie VI del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) se encuentran clasificados según los 6 tipos de usos del IPCC (Tabla 2), que incluyen a los manglares en la clasificación de uso forestal con tipo de vegetación “manglar” y “petenes”. Sin embargo, los datos sobre coberturas de manglar convertidas a otros usos del suelo continúan siendo poco explorados y analizados, lo que conlleva retos de validación de los USCUS en campo.

Tabla 2. Clasificación de usos del suelo, la cual contempla 6 distintos usos del suelo y cambios de uso de suelo (IPCC, 2006).

Uso del suelo	Descripción
1) Uso forestal	Cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición in situ, y con una extensión mínima de 1 ha.
2) Uso agrícola	Agricultura anual y perenne, patrones geométricos regulares, trazo de parcelas y patrones de plantaciones sistemáticas.
3) Praderas	Patrones de cercos, presencias de abrevaderos para el ganado, infraestructura ganadera, gestión de pastos, evidencia de pastoreo y patrones temporales de ramoneo.
4) Asentamientos humanos	Se observa en imágenes de muy alta y alta resolución al año 2018 infraestructura rural/urbana y carretera.
5) Humedales	Ríos, lagos, presas, infraestructura de producción acuícola
6) Otros usos	Suelos desnudos que no provienen de una perturbación; así como áreas desprovistas de vegetación.

Dentro del mismo uso del suelo, si se da una conversión por cambio de condición (Tabla 1) se provocan emisiones o absorciones de CO_2 según sea el caso. Si los manglares en condición conservada son deforestados o degradados pasan de ser sumideros de carbono a fuentes de emisión. Y si de la condición degradada o deforestada, los manglares se regeneran de manera asistida o natural, se convierten de nuevo en sumideros de carbono azul.

Las emisiones y absorciones de CO_2 ocurren también cuando los manglares son convertidos por diversas actividades humanas a otro uso del suelo (Tabla 2), es decir, pasan de “uso forestal” a “uso agrícola o praderas para ganadería”, por citar un ejemplo.

1.8 Inventarios de carbono azul

Un inventario de carbono incluye la evaluación del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono en un sistema forestal. Los inventarios de carbono en países como México, que forman parte de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), son parte fundamental para el reporte de sus inventarios nacionales de Gases de Efecto Invernadero (GEI), que incluyen al sector USCUS como emisor, sino también como sector con potencial para alcanzar las metas propuestas de reducción de emisiones.

Los almacenes de carbono en manglares se cuantifican en los 5 compartimentos establecidos por el IPCC en 2006

1. Biomasa aérea
2. Biomasa subterránea
3. Materia muerta de madera en diámetro mayor a 2mm
4. Mantillo, hojarasca –madera muerta menor o igual a 2mm
5. Carbono en suelo

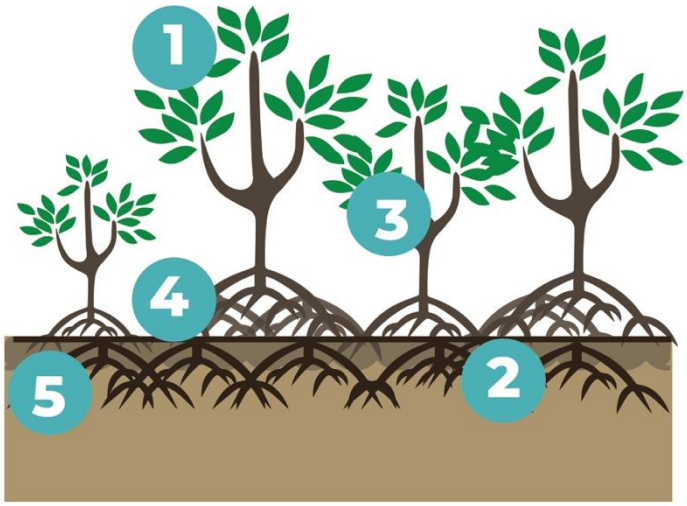


Figura 6. Almacenes de carbono en ecosistemas de manglar según el IPCC, 2006.

1.9 Estimación de almacenes de carbono en manglares

La definición de los sitios de muestreo se realiza por medio de técnicas de percepción remota apoyadas con Sistemas de información Geográfica (SIG), esto de acuerdo con la estratificación designada en el área de estudio. La estratificación se realiza con ayuda de fotografías aéreas, imágenes satelitales, SIG, mapas de vegetación, suelo y topografía, vuelos con drones, así como la experiencia en campo y el conocimiento local. Esto permite que se reduzca el número de muestras necesarias y aumentar la exactitud de la estimación de las existencias de carbono, además de capturar la variabilidad intra y entre localidades.

Cada estrato se representa por unidades de muestreo, definidas como parcelas y el carbono estimado se reporta como Megagramos de carbono por hectárea (Mg C ha^{-1}). La ubicación de las parcelas se distribuye de manera aleatoria para cada estrato.

Se establecen parcelas con una extensión máxima de 100 m^2, con un diseño anidado. Se miden los árboles adultos en la parcela de 100 m^2, mientras que los individuos juveniles se muestrean en subparcelas de 25 m^2 y plántulas en subparcelas de 1 m^2.

La estimación de los almacenes de carbono se realiza a través de tres pasos principales: 1) trabajo en campo: mediciones y colecta de muestras según el componente; 2) análisis en laboratorio: estimación de biomasa (peso seco) y contenido de carbono orgánico, a través de ecuaciones alométricas o por medición directa en laboratorio y 3) estimación de los almacenes de carbono.

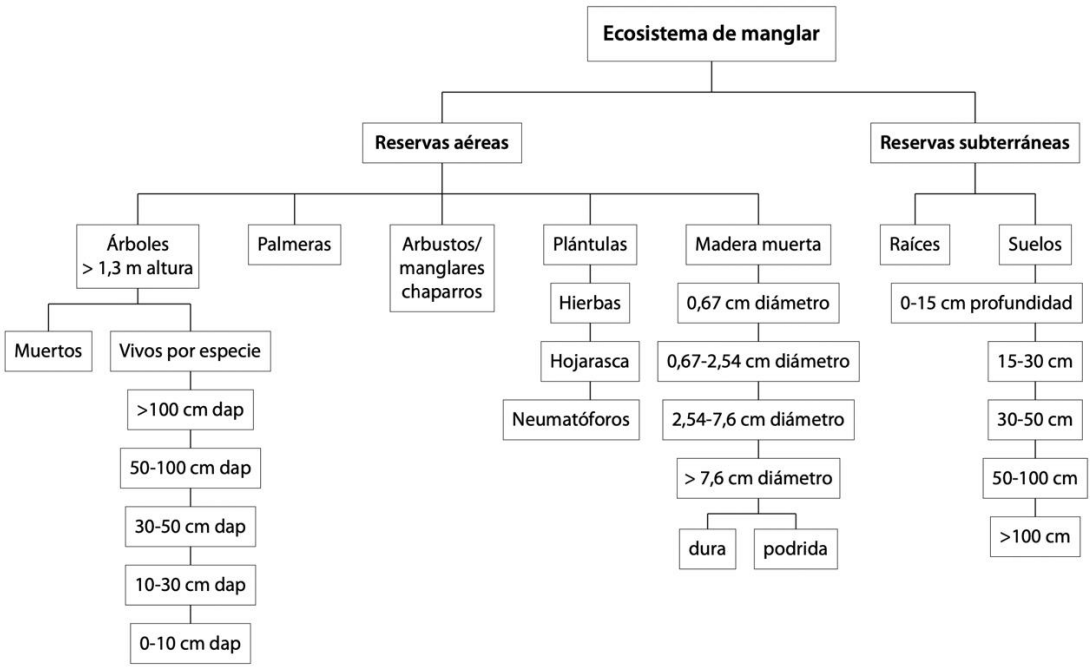


Figura 7. Componentes del ecosistema de manglares para la cuantificación de la biomasa y los almacenes de carbono (Kauffman *et al*., 2013).

1.10 Emisiones de CO_2 por USCUS en manglares

La estimación de emisiones y absorciones por Uso del Suelo y Cambio de Uso de Suelo (USCUS) específico para manglares requiere que se realicen los cálculos de emisiones dados por dos tipos de datos: los de actividad y los factores de emisión.

Los datos de actividad (DA) hacen referencia a los cambios en un área forestal y al grado de conversión entre las seis clases de uso del suelo de acuerdo con la clasificación del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2006) descritos en la Tabla 2: 1) Uso forestal, 2) Uso agrícola, 3) Praderas, 4) Asentamientos humanos, 5) Humedales y 6) Otros usos.

Estos datos se calculan a partir de los análisis de imágenes de percepción remota que sirven para clasificar los tipos de uso de suelo y para monitorear los cambios de uso en el tiempo. Como ya se hizo mención, en México, las instituciones que generan los insumos para analizar los cambios de coberturas son el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Siendo estas las fuentes de información consultadas y empleadas para los análisis y estimaciones de vegetación, superficies y condición actual.

Los factores de emisión (FE) son el contenido de carbono por unidad de área y sus variaciones; por lo que se refieren a los cambios en los almacenes de carbono de un uso del suelo, debido a cambios de uso del suelo por actividades humanas (por ejemplo, de manglar a pastizales) o a cambios dentro de un mismo

uso del suelo (por ejemplo, degradación forestal debida a la tala selectiva). Los FE se miden a partir de los inventarios forestales y de suelo, y en campo, ya que requieren de una cuantificación adecuada de los almacenes de carbono (Kauffman *et al.,* 2013).

1.11 Niveles de certidumbre

A fin de determinar los factores de emisión de carbono, el IPCC (2006) ha establecido tres niveles de valoración, los cuales van en función de la certidumbre o exactitud de las estimaciones de los almacenes de carbono. El nivel 1 abarca datos provenientes de valores estándares del IPCC (por ejemplo, biomasa de diferentes tipos de bosques) y datos de extensiones de manglar y USCUS nacionales de fuentes oficiales (INEGI, CONAFOR y CONABIO); estas estimaciones pueden tener un rango de error de +/- 50% para los componentes de carbono aéreos y +/- 90% para el componente del subterráneo. El nivel 2 requiere de datos de carbono de componentes más específicos para el país o región; incluyendo inventarios nacionales y/o estatales de los almacenes de carbono de diferentes componentes y mediciones continuas en el tiempo. Mientras que el nivel 3 de certidumbre se basa en la determinación regional de extensiones de manglar mediante percepción remota y datos generados localmente sobre los cambios en los almacenes de carbono obtenidos por mediciones directas en campo mediante metodologías estandarizadas como Kauffman *et al*., 2013, Howard *et al*., 2014 o Cisneros-de la Cruz *et al*., 2021.

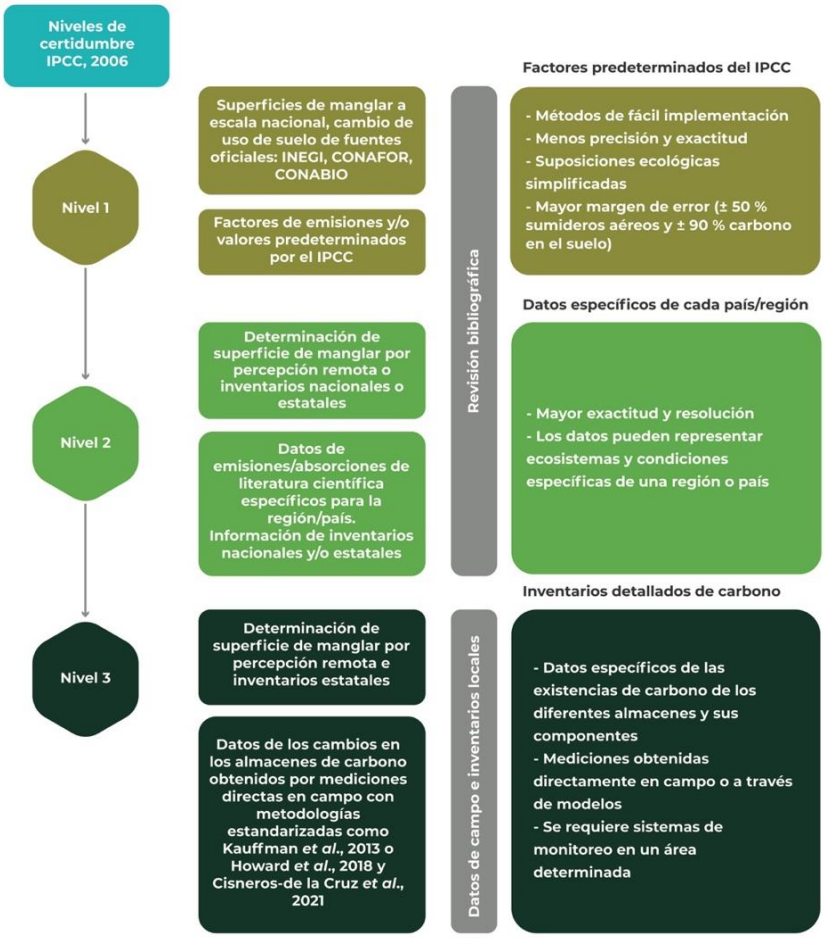


Figura 8. Niveles de certidumbre sobre almacenes de carbono en el sector USCUS. Fuente: Modificado de IPCC, 2006.

La deforestación en regiones tropicales está considerada como la segunda fuente más grande de emisiones de CO_2, seguido de la combustión fósil (IPCC, 2014). Donato *et al*., (2011) estima que, en manglares, las tasas de pérdida por USCUS combinadas con los altos valores de carbono almacenado, significarían una contribución del 10% de las emisiones totales de carbono por deforestación.

Se estima que entre 1980 y 2000 se presentó la pérdida de más de 35% de los manglares a nivel mundial. México presentó una de las tasas de deforestación más altas del mundo, ya que se perdieron en promedio 10,000 hectáreas de manglar por año según lo reportado por Donato *et al*., (2011). En este marco, la Península de Yucatán fue la región más afectada por los cambios de uso del suelo en manglares relacionados con el desarrollo de zonas turísticas, construcción de vías de comunicación y crecimiento de poblados (CONABIO, 2016) a nivel nacional.

Como se ha mencionado anteriormente, la alta capacidad de capturar y almacenar carbono por los ecosistemas de manglar asociados a su alta productividad primaria (Herrera *et al*., 2020); hacen que la protección, el manejo sostenible y la restauración de manglares sean claves en estrategias de mitigación al cambio climático. Los países interesados en poner en marcha actividades de reducción de emisiones por deforestación y degradación, deben establecer un nivel de referencia de emisiones de GEI, así como un Sistema nacional de monitoreo de los bosques, según la Decisión CP.16/1/Add. 1/par. 71 de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), con lo cual se facilite el conocimiento y la generación de información sobre las emisiones generadas por el sector USCUS (Uso de Suelo y Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura), en el cual se encuentran incluidos los manglares.

2. Área de interés

Para la presente consultoría, los análisis se realizaron considerando un área buffer de 20 km a partir de la línea de costa tierra adentro y 20 km costa afuera, desde la Laguna de Términos (Campeche) hasta Chetumal (Quintana Roo), dado que el proyecto ACCIÓN será implementado en áreas prioritarias seleccionadas. La zona de incidencia del proyecto también incluirá todas las islas que rodean a la PY. Esta franja (buffer) engloba la vegetación de manglar y otros humedales, así como pastos marinos que se encuentran en la zona costera y que son importantes para generar acciones que mitiguen la liberación y el proceso de captura de CO_2.

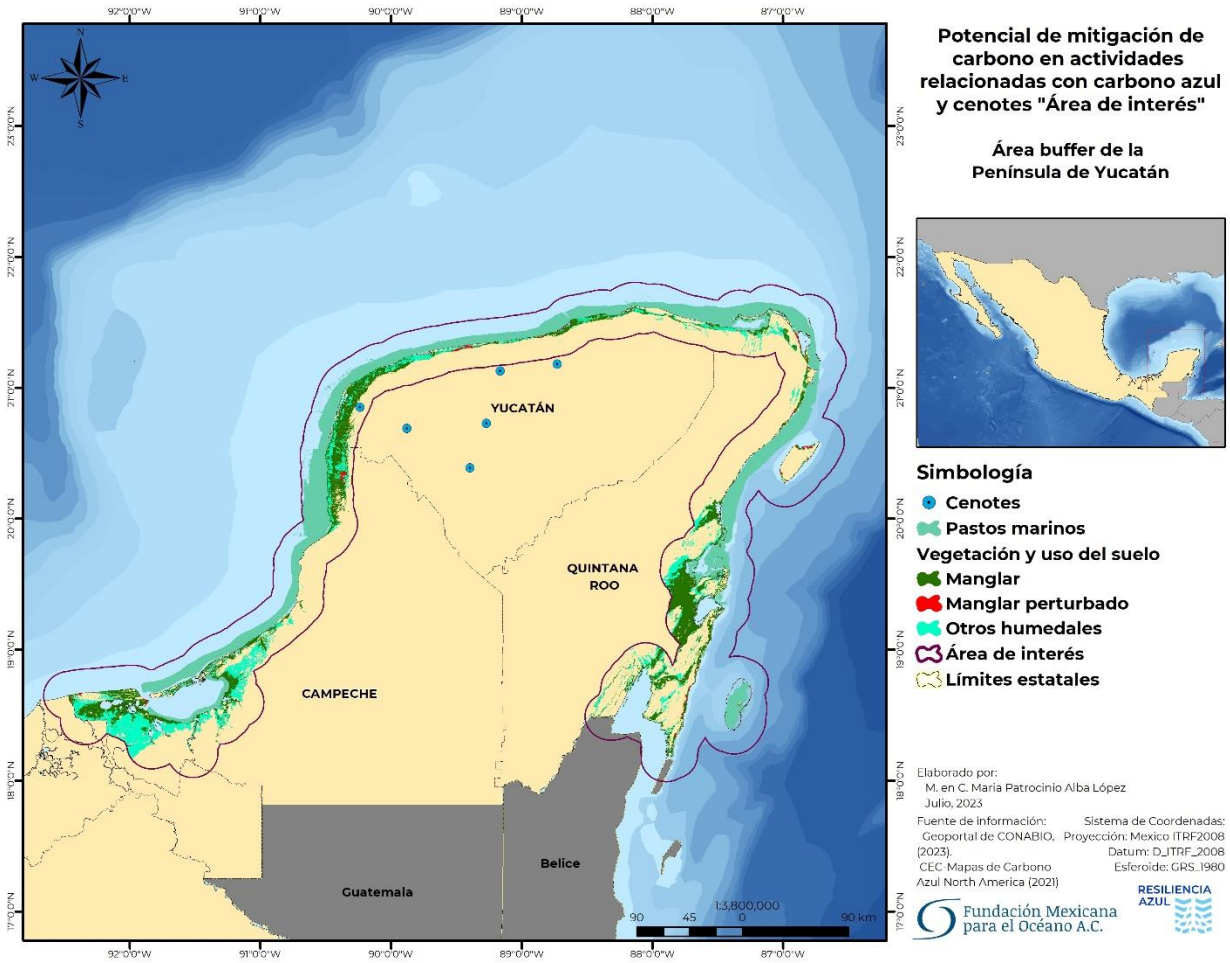
Se realizó una búsqueda de información en fuentes oficiales, esto con el fin de tener datos estandarizados y que permitiera contar con un panorama general de las condiciones en las que se encuentra la cobertura de manglar, otros humedales y pastos marinos en la Península de Yucatán. Los sitios oficiales consultados fueron:

- *CONABIO-Portal de Geoinformación 2023.Recuperado de: (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/),*
- *INEGI-Biblioteca digital de mapas (https://www.inegi.org.mx/app/mapas/?ag=23),*
- *SIMAR- Sistema de información y análisis marino costero (https://simar.conabio.gob.mx/explorer/),*
- *Comisión de Cooperación Ambiental, North America Blue Carbon, 2021 http://www.cec.org/north-american-environmental-atlas/north-american-blue-carbon-2021/.*
- *RAN-Registro Agrario Nacional, 2023. https://datos.gob.mx/busca/dataset/zonas-de-tierras-parceladas--formato-shape*

Se identificaron las coberturas de vegetación y uso del suelo relacionadas con manglares para el año 2020 de CONABIO, los mapas de conectividad de los manglares para los tres estados (2020), el mapa de las áreas naturales protegidas (2023) y los mapas de núcleos agrarios de los tres estados. Se relacionaron las capas de información, se analizaron y se obtuvieron las superficies de las ANP, los ejidos y las coberturas de manglar, manglar perturbado y otros humedales. Las coberturas consultadas y generadas se estandarizaron al sistema de proyección México ITRF 2008 LCC (Lambert Conformal Conic)[2].

Los datos utilizados corresponden a la literatura y la información publicada por CONABIO, con correspondencia a la información geoespacial generada por equipos consultores en el marco de preparación del proyecto ACCIÓN.

[2] https://spatialreference.org/ref/sr-org/8337/



Mapa 1. Área del proyecto ACCIÓN. Elaborado por Resiliencia Azul AC. Nota: Los análisis relacionados con cenotes se reportan por separado.

3. Objetivo general y específicos

Se estimó el potencial de mitigación de emisiones de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2eq}) como resultado de actividades del proyecto ACCIÓN para mejorar la conservación y la restauración de los ecosistemas de carbono azul (manglares, pastos marinos y otros humedales) en la franja de transición costera de la Península de Yucatán. El análisis y estimaciones de potencial de mitigación de CO_2 en cenotes se realiza de manera paralela bajo la coordinación de la Dra. Flor Arcega, investigadora titular de la UNAM-ENES, conforme a la metodología propuesta en el plan de trabajo de la consultoría.

De manera específica, para determinar el potencial de mitigación de carbono azul en manglares, pastos marinos y otros humedales se realizaron las siguientes actividades:

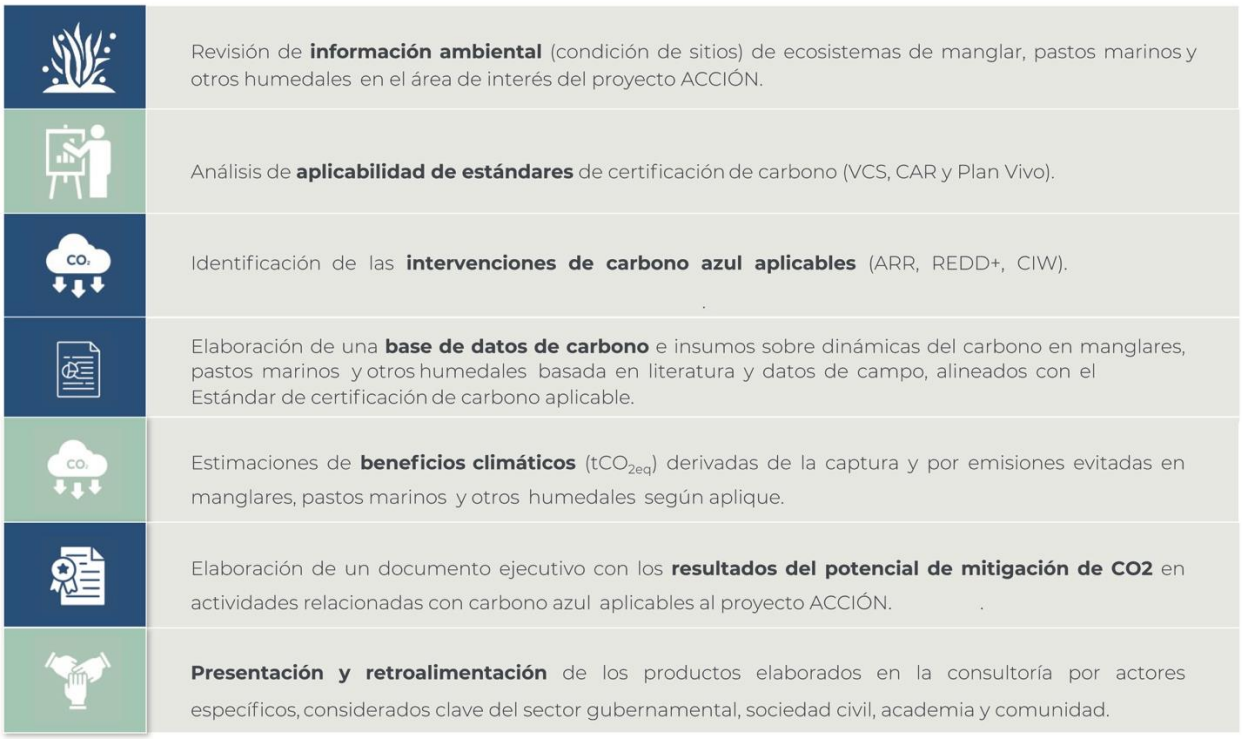


Figura 9. Objetivos específicos y actividades de la consultoría.

4. Hoja de ruta para colecta de información cartográfica y bases de datos

Se llevó a cabo una revisión de insumos cartográficos para la región de la Península de Yucatán, que brindó la información de coberturas de vegetación y uso del suelo relacionadas a manglares, pastos marinos y humedales. Además del análisis de capas de ANP y núcleos agrarios que se encuentran en el área de interés.

Tabla 3. Revisión de insumos cartográficos para la región de la Península de Yucatán.

No.	Insumo	Año	Escala	Fuente	Enlace
1	Mapa de División política estatal de México	2022	1:250,000	INEGI	https://www.inegi.org.mx/app/mapas/?ag=23)
2	Límite Nacional	2002	1:250,000	CONABIO	http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/
3	Mapa de Áreas Naturales Protegidas Federales	2022	1:250,000	CONANP	http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/
4	Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares, región Península de Yucatán	2020	1:50,000	CONABIO	http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/
5	Mapa de Conectividad de los manglares de Campeche, Yucatán y Quintana Roo	2020	1:50,000	CONABIO	http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/
6	Polígonos de los núcleos agrarios de Campeche, Yucatán y Quintana Roo	2023	1:50,000	Registro agrario nacional	https://datos.gob.mx/busca/dataset/datos-geograficos-perimetrales-de-los-nucleos-agrarios-certificados-por-estado
7	Bases de información de Núcleos Agrarios (PHINA)	S/D	No aplica	Padrón e Historia de Núcleos Agrarios	https://phina.ran.gob.mx/index.php
8	Cartografía de la presencia de Pastos Marinos en el Mar Caribe	2021	1:350,000	Commission for Environmental Cooperation. North American Blue Carbon. Pastos marinos	http://www.cec.org/north-american-environmental-atlas/north-american-blue-carbon-2021/

No.	Insumo	Año	Escala	Fuente	Enlace
9	Distribución global de pastos marinos	2020	1:350,000	SIMAR-CONABIO	https://simar.conabio.gob.mx

Coberturas generadas en el análisis de información para la priorización de sitios en la franja costera de la Península de Yucatán.

Tabla 4. Coberturas generadas para la priorización de sitios en la franja costera de la Península de Yucatán.

No.	Insumo	Año	Escala	Fuente	Enlace
1	Poligonal del área buffer de 20 km a partir del límite nacional para los tres estados de la Península de Yucatán (Campeche, Yucatán y Quintana Roo)	2023	1:250,000	Consorcio RA-FMO	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1dBC8_sTpXDKpvi4D1RSPWHrU3-qMfOsH
2	Cobertura de Áreas Naturales Protegidas que se encuentran dentro del área buffer de la Península de Yucatán	2023	1:250,000	Consorcio RA-FMO	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1dBC8_sTpXDKpvi4D1RSPWHrU3-qMfOsH
3	Cobertura de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares e índice de conectividad, para el área buffer de la Península de Yucatán	2023	1:50,000	Consorcio RA-FMO	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1dBC8_sTpXDKpvi4D1RSPWHrU3-qMfOsH
4	Cobertura de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares e índice de conectividad, para el área buffer de la Península de Yucatán	2023	1:50,000	Consorcio RA-FMO	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1dBC8_sTpXDKpvi4D1RSPWHrU3-qMfOsH
5	Cobertura de sitios priorizados, incluyendo las ANP, ejidos dentro de las ANP, uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares e índice de conectividad de manglares que se encuentran dentro del área buffer de la Península de Yucatán	2023	1:50,000	Consorcio RA-FMO	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1dBC8_sTpXDKpvi4D1RSPWHrU3-qMfOsH
6	Cobertura de pastos marinos para el área buffer de la Península de Yucatán	2023	1:350,000	Consorcio RA-FMO	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1dBC8_sTpXDKpvi4D1RSPWHrU3-qMfOsH

4.1 Revisión de literatura asociada a almacenes de carbono y captura de CO_2 en manglares, pastos marinos y humedales

Se llevó a cabo la revisión de estudios publicados y resultados previos existentes en los sitios de interés para la Península de Yucatán, incluyendo estudios de factibilidad de cálculo de emisiones de carbono, liberación de CO_2 a la atmósfera y almacenes de carbono para los ecosistemas de CA.

El repositorio digital de materiales públicos sobre los ecosistemas de interés con énfasis en almacenes de carbono, sumideros y emisiones de CO_2 y otros GEI puede ser consultado en el siguiente enlace (Repositorio digital).

Las siguientes tablas muestran un listado de los documentos revisados de acuerdo con el tipo de ecosistema.

Manglares

Tabla 5. Revisión de literatura sobre almacenes de carbono en manglares.

Autor	Tema	Síntesis	Año	Enlace
Rosalía Andrade Medina, *et al.*	Análisis y sistematización de insumos técnicos de tasas de captura y medición de CO_2 y especificación técnica para manglares del Área Natural Protegida de Yum Balam.	Importancia de la conservación de los manglares y su papel en la mitigación del cambio climático, así como en la necesidad de desarrollar un enfoque técnico y científico para la protección de estos ecosistemas. Además, se identifican las principales áreas de investigación y la necesidad de mayor cooperación entre investigadores, gobiernos y la sociedad en general para asegurar la conservación sostenible de los manglares en la región de Yum Balam en Quintana Roo.	2022	Medina et al 2022
Jorge A. Herrera-Silveira, *et al.*	Mitigación, Adaptación, y Reducción de la Vulnerabilidad del Socio Ecosistema Costero a través de la Conservación y Restauración de los Manglares de la ANP de Celestún, Yum Balam, Nichupté y Sian Ka'an.	Necesidad de adoptar un enfoque ecosistémico y de considerar la interacción de los manglares con otros elementos del socio ecosistema costero, como arrecifes de coral y playas. Identifican las principales estrategias y prácticas para la conservación y restauración de manglares, así como la necesidad de involucrar a las comunidades locales y abordar los desafíos a nivel político y económico.	2022	https://drive.google.com/file/d/1Q-sJgD45TUoboRMi06lDPcx8m55KHWau/view?usp=drive_link

Autor	Tema	Síntesis	Año	Enlace
Patricia Arenas González	El potencial de la Gestión del Carbono Azul en México: un estudio de caso de la Reserva de Biosfera de Sian Ka'an.	El objetivo principal de este estudio fue cuantificar la cantidad de carbono orgánico que ha sido secuestrado biológicamente en el sitio después de la restauración. En este sentido, se han tenido en cuenta tanto las existencias de carbono vegetal como las del suelo. Una parte de la contribución de este estudio es la creación de dos modelos alométricos que estiman la biomasa aérea de individuos pequeños de Rhizophora mangle y Avicennia germinados.	2019	https://drive.google.com/file/d/107rWS85qXtOi6CaqZy_WVcHis8__KxCf/view?usp=drive_link
Siuling Cinco Castro, *et al.*	Sedimentación como un servicio de soporte en diferentes tipos ecológicos de manglares	Los manglares en zonas kársticas tienen una tasa de sedimentación más baja que los manglares sometidos a otras condiciones, lo que refleja la importancia del hidrodinamismo en los patrones de sedimentación.	2022	https://drive.google.com/file/d/1chE6uywFwm-jHhlAiyIV3EoheDWQdoiG/view?usp=drive_link
Jorge A. Herrera-Silveira, *et al.*	Carbono azul de México, existencias y flujos de carbono: una revisión sistemática.	Esta síntesis sugiere que las políticas para la conservación y restauración de los ecosistemas de carbono azul en México deben ser mejoradas y aplicadas, además del marco legal actual de protección, que no cumple adecuadamente su propósito. Los datos oficiales informan que el turismo, la agricultura y el cambio de uso de suelo son las actividades con impactos perjudiciales en los ecosistemas de carbono azul mexicanos.	2020	https://drive.google.com/file/d/1Od3lD29zMwmnXNZsVmjluCX5MpaDjTuI/view?usp=drive_link
----------	Metodología para la cuantificación de carbono.	Investigación y experimentación de la cuantificación de carbono.	2022	https://docs.google.com/document/d/1l89DsYQquqiD4gTyRuLm_C_3RN1-IVXU/edit?usp=drive_link&ouid=107535584016789094808&rtpof=true&sd=true
J. Boone Kauffman, *et al*.	Existencias de carbono en los manglares y pérdidas derivadas de su conversión a pastizales de ganado en los	Cuantificaron las existencias totales de carbono en los ecosistemas de manglares y pastizales de ganado formados a partir de manglares en el extenso complejo de humedales de los Pantanos de Centla en el sureste de México. La conversión de manglares a otros usos de la tierra conlleva un gran costo en términos de emisiones de	2016	https://drive.google.com/file/d/1l1xkCS-9PCBCVbpBB56XvrCQr21fSszw/view?usp=drive_link

Autor	Tema	Síntesis	Año	Enlace
	Pantanos de Centla, México	gases de efecto invernadero, así como pérdidas de otros servicios ecosistémicos importantes.		
Patricia Guadarrama *et al*.	Florística, composición y estructura de las comunidades vegetales de la porción occidental de la Reserva Estatal Ciénegas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán	Elaboración de un listado florístico e identificar los tipos de vegetación y las asociaciones vegetales presentes en la RECMY, analizando su estructura y composición. Los resultados muestran la riqueza de especies y de tipos de vegetación en la RECMY, y son la base para plantear el plan de manejo de la reserva encaminado a su conservación.	2018	https://drive.google.com/file/d/1EK86jNwE21UYwCfiYTPSc0Dqayalutxw/view?usp=drive_link
Trisha B. Atwood*, et al.*	Patrones globales en las existencias y pérdidas de carbono en el suelo de los manglares.	La investigación se centró en determinar el carbono almacenado en el suelo de los manglares alrededor del mundo y cómo las actividades humanas están afectando la pérdida de carbono en esos ecosistemas. Se enfatiza la importancia de proteger y restaurar los manglares para mitigar el cambio climático y preservar la biodiversidad de estas áreas.	jun-17	https://drive.google.com/file/d/1ULZsk68xj6YWsTpk3V-suWIuc9_2RMPV/view?usp=drive_link
María Fernanda Adame, *et al.*	Existencias de carbono de los humedales costeros tropicales dentro del paisaje kárstico del Caribe mexicano	La investigación se centró en evaluar las existencias de carbono en humedales costeros tropicales ubicados en el paisaje kárstico del Caribe mexicano. Los resultados mostraron que los humedales evaluados contienen una cantidad significativa de carbono, con valores hasta 5 veces mayores que los bosques tropicales cercanos. Además, se encontró que la conversión de los humedales en tierras de cultivo y desarrollo puede tener un impacto significativo en la pérdida de carbono.	2013	https://drive.google.com/file/d/1sXo7vvxUWU3R-z9qGYJXYS1ZaJfTnBt0/view?usp=drive_link
Eliane Ceccon Cristina Martínez *et al.*	Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas	Se desarrollan las acciones de restauración de un área de manglar degradada por la obstrucción del flujo superficial y sub-superficial de agua debido a la construcción de la carretera de acceso al Puerto de Celestún.	2016	https://drive.google.com/file/d/1ebK_laM2AjFX4pHJTsiEdT9-oTA88u8S/view?usp=drive_link

Pastos marinos

Tabla 6. Revisión de literatura sobre pastos marinos y servicios ecosistémicos.

Autor	Tema	Resumen	Año	Enlace
Tania C. Cota Lucero *et al.*	Seagrass contribution to blue carbon in a shallow karstic coastal area of the Gulf of Mexico	Esta información enfatiza la importancia de los prados de pastos marinos como sumideros de carbono en la región y su contribución a la mitigación del cambio climático, lo que permite la implementación de estrategias de conservación necesarias.	2021	https://drive.google.com/file/d/1X6VsMGr3Duk9ErGjW7WP5fs9sRLT_Jfl/view?usp=sharing
Tania C. Cota Lucero *et al.*	Copia de Dataset_S_Data_ Seagrasses_PeerJ	Base de datos generada por Tania Cota		https://docs.google.com/spreadsheets/d/1zZi9LqCcWmL8UF7F-sNxZ68rtE7z8xU3/edit?usp=sharing&ouid=116676333835633921908&rtpof=true&sd=true
Jorge A. Herrera-Silveira, *et al.*	Informe Técnico final: Almacenes de carbono en manglar y pastos marinos del área de protección de flora y fauna Reserva de Yum Balam	Evaluación sobre las reservas de carbono almacenadas en los manglares y pastos marinos que se encuentran en el polígono del Área de Protección de Flora y Fauna Reserva de Yum Balam (APFFYB).	2018	https://drive.google.com/file/d/1cn8utq1t7DI7oF7CEg0p8Yh0n_C2WldT/view?usp=sharing
Gail Chmura, Dr. Fred Short *et al.*	El Carbono Azul de América del Norte: Evaluación de la Distribución y Sumideros de Carbono de las Praderas Marinas, Marismas y Manglares.	Se recopilaron, verificaron y compilaron mapas de distribución de hábitats en las costas de Canadá, México y Estados Unidos para crear la primera evaluación de carbono azul a nivel continental. Los mapas muestran que las praderas marinas crecen a lo largo de las costas de América del Norte, mientras que los manglares son principalmente tropicales y las marismas son principalmente temperados/árticos.	2016	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1c4DiSJhc-cupvvjwGEyUUVZtaJqFxYlB
Nadia E. Rivera-Guzmán *et al.*	Estado a largo plazo de las lagunas costeras en Veracruz, México: Efectos de los cambios en el uso de la tierra en las cuencas hidrográficas sobre los hábitats de las	Evaluar la influencia de las actividades productivas en cuatro lagunas costeras y un estuario a nivel de cuenca hidrográfica y establecer puntos de referencia o indicadores ecológicos sobre los cuales se puedan medir los futuros cambios en los humedales costeros. Y los resultados indican que, a lo largo del tiempo, las lagunas han mantenido un estado eutrófico, y solo una se ha vuelto mesotrófica.	2014	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1c4DiSJhc-cupvvjwGEyUUVZtaJqFxYlB

Autor	Tema	Resumen	Año	Enlace
	praderas marinas.			
James W. Fourqurean, *et al.*	Los ecosistemas de pastos marinos como un stock de carbono globalmente significativo	Recopila mediciones publicadas y no publicadas del contenido de carbono orgánico de la biomasa viva de las praderas marinas y los suelos subyacentes en 946 praderas marinas distintas en todo el mundo.	2012	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1c4DiSJhc-cupvvjwGEyUUVZtaJqFxYlB

Humedales

Tabla 7. Revisión de literatura sobre humedales y secuestro de carbono.

Autor	Tema	Palabra clave	Año	Enlace
Sofie Sjogersten, *et al.*	Los ecosistemas de humedales costeros generan grandes reservas de carbono en la zona tropical de México	Este estudio determina las existencias de C por encima y por debajo del suelo en manglares, bosques pantanosos, pantanos y humedales de pastoreo en tres regiones diferentes de México (estados de Veracruz, Tabasco/Campeche y Chiapas), utilizando una combinación de técnicas de teledetección y recopilación de datos de campo.	2021	https://drive.google.com/file/d/1I7zb5VRR1heoQkfe1e8FUBCTUtYMyT8C/view?usp=sharing
Patricia Moreno-Casasola	Reservas de carbono en suelos humedales costeros	Conocer cómo los humedales del mundo y específicamente los humedales costeros mexicanos pueden ayudar a nuestro país a cumplir en parte con sus compromisos en el Acuerdo de París. Este acuerdo sobre el cambio climático reconoce la función que desempeñan los humedales al limitar la cantidad de carbono presente en la atmósfera.	2021	https://drive.google.com/file/d/1kHiurciAsapzS8p9l_YzAKEGdWBC6ML3/view?usp=sharing
María Elizabeth Hernández y Patricia Moreno-Casasola Barceló	Almacenes y flujos de carbono en humedales de agua dulce en México	Conocimiento sobre la dinámica del carbono (almacenes y flujos) en humedales de agua dulce en México a partir de una revisión de la literatura, para tres estados del sureste mexicano: Veracruz, Yucatán y Chiapas.	2018	https://drive.google.com/file/d/1LFOhCO5aEpIoF-uhTfCv0MI68RQBWhJ6/view?usp=drive_link
César Vázquez-González, *et al.*	Manglares y humedales de agua dulce. Conservación a través de compensaciones de carbono	El análisis de costo-beneficio para evaluar proyectos de inversión desde una perspectiva gubernamental es útil para determinar la viabilidad de conservar los humedales costeros a través de créditos de compensación de carbono.	2016	https://drive.google.com/file/d/1O4ik_6e4V_oN5rU_uzJuKQNkQvkP2kT6/view?usp=sharing

Autor	Tema	Palabra clave	Año	Enlace
Patricia Moreno-Casasola, *et al.*	Hidrología, Secuestro de Carbono del Suelo y Retención de Agua a lo largo de una Zona Costera Gradiente de Humedales en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México	Los diferentes tipos de humedales en Alvarado forman un continuo cubierta vegetal de parches que difieren en su estructura y composición. Forman un gradiente de costa a tierras altas de manglares -pantanos de agua dulce- pantanos herbáceos a lo largo de los cuales el suelo características, el almacenamiento de carbono y el almacenamiento de agua aumentan, excepto en el humedal más externo dominado por palmeras y pastizales. Los datos del hidroperíodo indican que todos los tipos de humedales se inundan durante varios meses del año.	2017	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/13kfL2MmK2r15m4-w5wogM7xo9lZsoWrp
José Luis Marín-Muñiz, *et al.*	Percepciones sobre servicios ambientales y pérdida de humedales arbóreos en la comunidad de Monte Gordo, Veracruz	Percepciones de los habitantes de Monte Gordo, Veracruz sobre los servicios ambientales que proveen los humedales arbóreos, sobre la pérdida de humedales.	2016	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/13kfL2MmK2r15m4-w5wogM7xo9lZsoWrp
José Luis Marín-Muñiz, *et al.*	Emisiones de gases de efecto invernadero de los humedales costeros de agua dulce en Veracruz México: efecto de la comunidad vegetal y la dinámica estacional	Se encontró que el nivel del agua y el potencial redox son los principales factores que influyen en las emisiones de GEI en estos humedales.	2015	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/13kfL2MmK2r15m4-w5wogM7xo9lZsoWrp
María E. Hernández, *et al.*	Comparación de reservas de carbono en el suelo y flujos de gas de carbono en humedales boscosos costeros y pastizales inundados en Veracruz, México	El objetivo de este estudio fue investigar si la conversión de humedales boscosos de agua dulce (FW) en pastizales inundados (FGL) ha afectado el ciclo del carbono del suelo.	2015	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/13kfL2MmK2r15m4-w5wogM7xo9lZsoWrp

Autor	Tema	Palabra clave	Año	Enlace
José Luis Marín-Muñiz, *et al.*	Comparación del secuestro de carbono del suelo en humedales costeros de agua dulce con diversas características geomórficas y comunidades de plantas en Veracruz, México	El estudio compara las reservas de carbono y el secuestro de carbono en humedales de agua dulce con diversas características geomórficas (estuarina, perilacustre y depresiva) y diversas comunidades vegetales.	2014	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/13kfL2MmK2r15m4-w5wogM7xo9lZsoWrp

4.2 Análisis y caracterización ambiental de manglares y otros humedales en el área buffer de 20 km de la Península de Yucatán

Se realizó el análisis de la cobertura de vegetación y uso del suelo de la zona costera asociada a manglares 2020 y del índice de conectividad en manglares en el área buffer de 20 km en la Península de Yucatán que integra las siguientes coberturas:

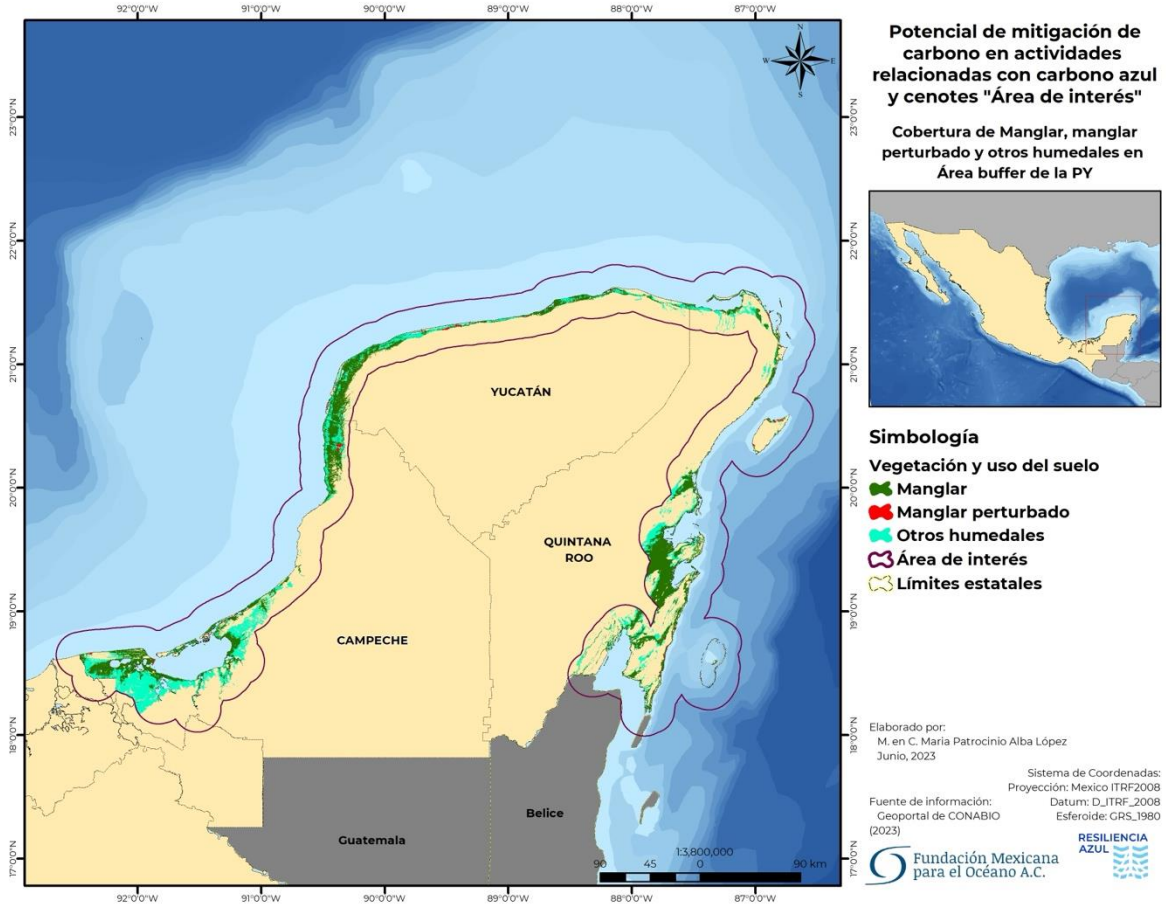
- *"vegetación y uso del suelo de la zona costera asociada a manglares 2020 para la Península de Yucatán", en la que se utilizaron las coberturas de manglar, manglar perturbado y otros humedales. De acuerdo con lo reportado por CONABIO, dentro de la clase "Otros humedales" se incluye la vegetación hidrófita de popal-tular-carrizal, además de pastizales inundables, vegetación hidrófita o halófila con individuos de mangle dispersos o en pequeños islotes y los terrenos salinos costeros con poca cubierta vegetal.*
- *"índice de conectividad", de acuerdo con la información de CONABIO en esta capa se describe la pérdida y disminución de la conectividad, lo cual es una de las mayores amenazas para la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de los ecosistemas costeros. Este Índice representa la importancia de las áreas de hábitat y vínculos para el mantenimiento o la mejora de la conectividad, así como la evaluación de los impactos en los cambios del hábitat y el paisaje. Se generó una cobertura a partir de tres capas de información (una para cada estado de la PY) que se respaldaron de la página del Geoportal de CONABIO.*

4.3 Vegetación y uso del suelo de la zona costera asociada a manglares

Con base en el análisis de la información realizado, se estimó que, para el área de interés en la Península de Yucatán, la cobertura de manglar cuenta con una superficie aproximada de 528,619.83 ha, dentro de las cuales 3,161.99 ha corresponden a manglar perturbado y para otros humedales se registran 412,040.58 ha (CONABIO, 2020). En el estado de Quintana Roo se encuentra la mayor superficie de estos ecosistemas (Tabla 8).

Tabla 8. Superficies de coberturas de manglar, manglar perturbado y otros humedales en el área buffer de la PY.

Estado	Manglar (ha)	Manglar Perturbado (ha)	Otros humedales (ha)
Campeche	200,080.71	1,048.07	238,103.57
Yucatán	97,044.76	939.66	51,890.30
Quintana Roo	231,494.36	1,174.27	122,046.72
Total	**528,619.83**	**3,161.99**	**412,040.58**



Mapa 2. Cobertura de manglar, manglar perturbado y otros humedales en el área buffer de la PY.

4.4 Índice de conectividad

El Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM) llevó a cabo un análisis de la ecología del paisaje, en la que se evaluaron patrones espaciales de los parches, clases de cobertura o el paisaje en su conjunto de los manglares, y generaron diversos índices para determinar la fragmentación, conectividad y amenazas o integridad de estos ecosistemas. En la fragmentación, una cobertura va perdiendo superficie y empieza a disgregarse hasta convertirse en islas (o parches) dentro de un espacio geográfico. Este proceso en hábitats naturales generalmente es producto de

los patrones de cambio de uso del suelo de diferentes intensidades asociados a actividades humanas.

La integridad de un paisaje se ve afectada por la fragmentación, afectando su estructura y con ello su conectividad, una de las mayores amenazas para la biodiversidad y el mantenimiento de la ecología del paisaje es la pérdida de conectividad.

El SMMM generó un índice integral de conectividad, mediante el uso del software Conefor, el cual permite cuantificar la importancia del hábitat y el mantenimiento de la conectividad del paisaje. Este índice considera el área del hábitat como un espacio donde se produce la conectividad, la medición de los recursos conectados existentes dentro del ámbito junto con recursos puestos a disposición por las conexiones con otros parches de hábitat (http://conefor.org). Los valores obtenidos del índice integral de conectividad) se agruparon en cinco categorías que son: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo (consultar con CONABIO), de manera tal que permite reconocer las diferentes priorizaciones en los parches de manglar por su contribución a la conectividad del paisaje.

Para el caso de los manglares que se encuentran dentro del sitio de interés, se analizó la cobertura del índice de conectividad que presentan los manglares en la Península de Yucatán, el valor "*muy alto"* abarco la mayor superficie 285,024.83 ha (54% de la superficie), el estado con la mayor superficie es de esta categoría es Campeche (130,135.97 ha), le sigue Yucatán con 52,796.75 ha. seguido del de "*muy baja*" conectividad con 91,995.07 ha (17%), sobresale Quintana Roo con 60,636.18 ha. El índice medio con 14% (abarca 71,220.52 ha), siendo Quintana Roo con 37,153.43 ha el estado con mayor superficie (Figura 10).

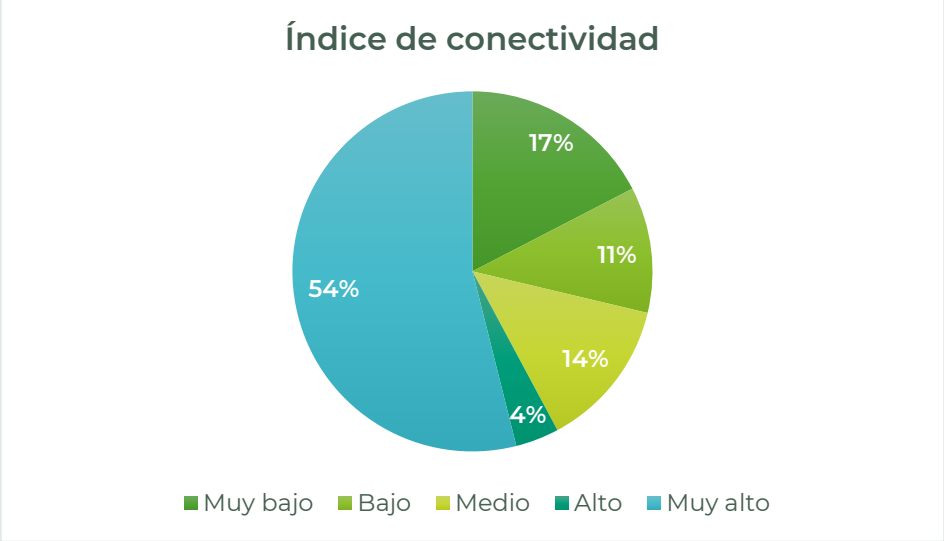


Figura 10. Índice de conectividad en la cobertura de manglar conservado en el área buffer de la Península de Yucatán.

Tabla 9. Superficie de manglar de acuerdo con la categoría del índice integral de conectividad, generado por CONABIO (2020), para la Península de Yucatán.

Estado	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Campeche	130,135.97	9,612.40	20,968.03	21,328.49	18,031.88
Quintana Roo	102,092.11		37,153.43	31,637.21	60,636.18
Yucatán	52,796.75	11,010.13	13,099.07	6,791.17	13,327.01
Total	**285,024.83**	**20,622.53**	**71,220.52**	**59,756.87**	**91,995.07**

4.5 Áreas Naturales Protegidas

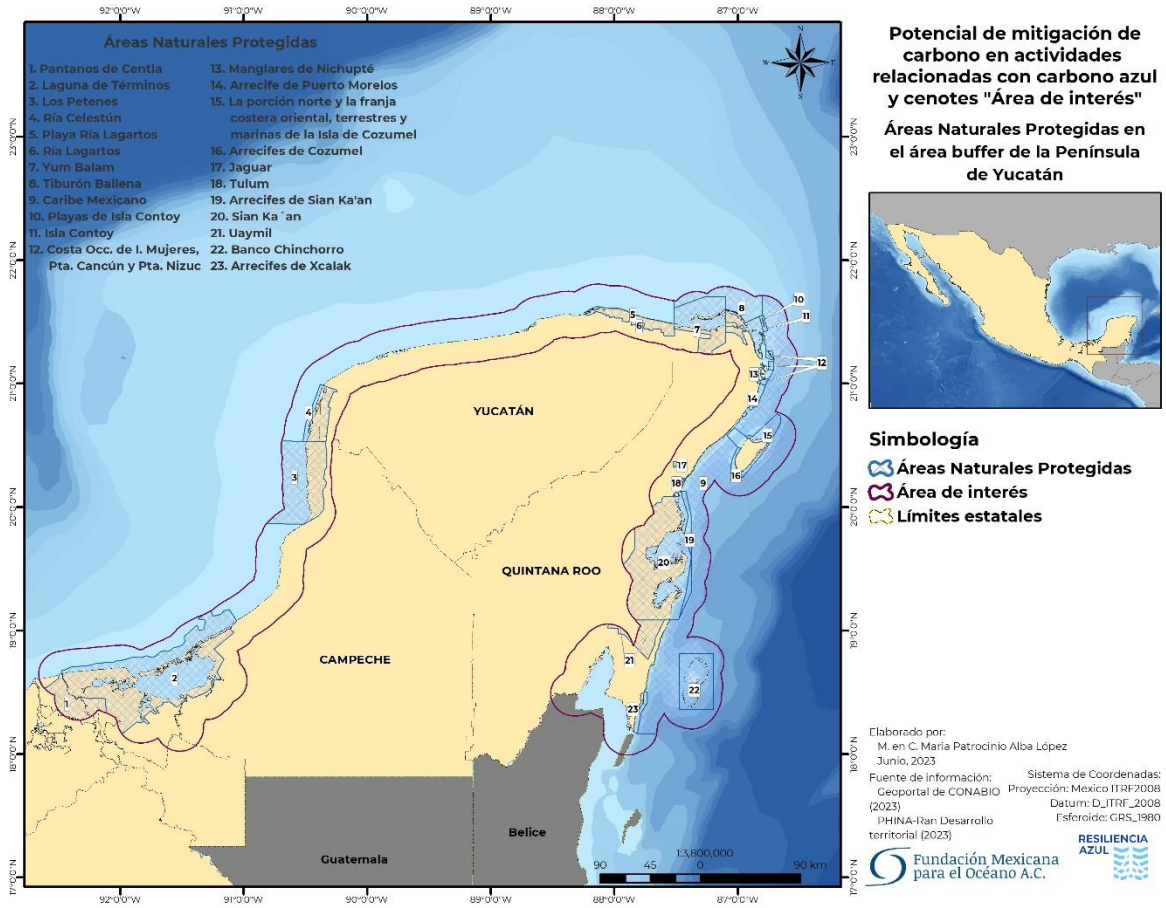
De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)**,** Art. 44**,** las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son áreas del territorio nacional en las que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por actividades humanas, o bien sus ecosistemas y funciones integrales requieren ser preservadas y restauradas.

Dentro del área buffer de los 20 km de la Península de Yucatán se encuentran distribuidas diversas ANP, consideradas sitios estratégicos como corredores naturales, reservorios de biodiversidad y para el mantenimiento de diversos ecosistemas marino-costeros. La preservación y el mantenimiento de estos ambientes naturales es uno de los múltiples objetivos de la Comisión Nacional de la Áreas Naturales Protegidas (CONANP); por ello identificar sitios de interés para esta tarea es estratégico.
En el área buffer de la Península de Yucatán se encuentran 23 Áreas Naturales Protegidas, de las cuales cuatro se encuentran en el estado de Campeche, tres en Yucatán y 16 en Quintana Roo. Las ANP se encuentran englobadas en cuatro tipos de categorías de manejo: *i*) Reservas de la Biosfera (RB), *ii*) Áreas de protección de flora y fauna (APFF), *iii*) Parques nacionales (PN) y *iv*) Santuarios (S) (Tabla 10).

Tabla 10. Superficie de las ANP que se encuentran dentro del área buffer de la PY, superficie de manglares, manglares perturbados, otros humedales y pastos marinos.

Estado	Nombre de ANP	Categoría	Superficies del ANP (ha)			Tipo de ecosistema (superficie en hectáreas)			
			Área total de Extensión	Superficie Terrestres	Superficie Marina	Manglar conservado	Manglar degradado	Otros humedales	Pastos marinos
Campeche	Pantanos de Centla	Reserva de la Biosfera	302,706.63	302,706.63	0	672.87	S/D	6,436.28	S/D
Campeche	Laguna de Términos	Área de Protección de Flora y Fauna	706,147.67	547,278.71	158,868.96	111,225.43	374.04	132,976.53	119,672.30
Campeche	Los Petenes	Reserva de la Biosfera	282,857.63	100,866.53	181,991.10	55,765.33	634.73	25,676.19	126,512.11
Yucatán	Ría Celestún	Reserva de la Biosfera	81,482.34	61,926.57	19,555.76	40,141.72	17.43	11,561.80	27,754.23
Yucatán	Playa Ría Lagartos	Santuario	827.36	827,36	0	0.04	S/D	13.25	270.20
Yucatán	Ría Lagartos	Reserva de la Biosfera	60,347.83	60,347.83	0	8,891.31	46.42	11,165.66	636.04
Quintana Roo	Yum Balam	Área de Protección de Flora y Fauna	154,052.25	52,307.62	101,744.63	8,594.85	1.35	11,518.57	65,216.35

Estado	Nombre de ANP	Categoría	Superficies del ANP (ha)			Tipo de ecosistema (superficie en hectáreas)			
			Área total de Extensión	Superficie Terrestres	Superficie Marina	Manglar conservado	Manglar degradado	Otros humedales	Pastos marinos
Quintana Roo	Tiburón Ballena	Reserva de la Biosfera	145,988.14	0,00	145,988.14	03.08	S/D	0.10	20,207.57
Quintana Roo	Caribe Mexicano	Reserva de la Biosfera	5,754,055.36	28,589.50	5,725,465.87	7,645.45	192.01	6,100.33	132,502.65
Quintana Roo	Playas de Isla Contoy	Santuario	10.75	10.75	0	0.01	0.18	0.52	0.85
Quintana Roo	Isla Contoy	Parque Nacional	5,126.26	230.00	4,896.26	82.59	8.39	17.88	1,813.17
Quintana Roo	Costa Occ. de I. Mujeres, Pta. Cancún y Pta. Nizuc	Parque Nacional	8,673.06	0.61	8,672.45	8.96	S/D	S/D	7,131.59
Quintana Roo	Manglares de Nichupté	Área de Protección de Flora y Fauna	4,257.50	4,257.50	0.00	2,817.20	4.79	554.09	S/D
Quintana Roo	Arrecife de Puerto Morelos	Parque Nacional	9,066.63	37.74	9,028.89	0	S/D	S/D	8,857.29
Quintana Roo	La porción norte y la franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel	Área de Protección de Flora y Fauna	37,829.17	5,733.21	32,095.96	1,576.21	288.85	1,066.64	S/D
Quintana Roo	Arrecifes de Cozumel	Parque Nacional	11,987.88	82.28	11,905.60	10.49	0.61	8.17	S/D
Quintana Roo	Jaguar	Área de Protección de Flora y Fauna	2,249.71	2,249.71	0.00		S/D	4,67	S/D
Quintana Roo	Tulum	Parque Nacional	664.32	664.32	0.00	203.22	S/D	10.23	S/D
Quintana Roo	Arrecifes de Sian Ka'an	Reserva de la Biosfera	34,927.16	1,361.00	33,566.16	216.12	S/D	S/D	10,534.92
Quintana Roo	Sian Ka´an	Reserva de la Biosfera	528,147.67	375,011.87	153,135.80	131,815.97	4.59	48,277.48	72,380.59
Quintana Roo	Uaymil	Área de Protección de Flora y Fauna	89,118.15	89,118.15	0.00	12,458.52	30.06	4,904.10	S/D
Quintana Roo	Banco Chinchorro	Reserva de la Biosfera	144,360.00	585.79	143,774.21	415.96	3.22	17.76	40,885.24
Quintana Roo	Arrecifes de Xcalak	Parque Nacional	17,949.46	4,521.84	13,427.62	2,201.99	117.79	334.56	1,382.93



Mapa 3. Áreas Naturales Protegidas dentro del área buffer de 20 km en la Península de Yucatán.

Análisis de las Áreas Naturales Protegidas y Vegetación y usos del suelo asociado a manglares e índice de conectividad dentro del área buffer de 20 km de la Península de Yucatán.

Para las ANP del área de interés (buffer 20 km), se registra una superficie de manglar conservado de 384,747.31 ha, que corresponde al 72.80% de la superficie de manglares y fuera de las ANP se reportan 143,872.52 ha (27.2%) , en tanto que para manglar perturbado se registra una superficie de 1,724.45 ha (que corresponde al 57.7% de la superficie dentro del área buffer) dentro de las ANP y fuera están 1,437.55 ha (43.3%)) y para otros humedales se tienen 260,644.80 ha (63.3%) dentro de las ANP y fuera 151,395.79 ha (36.7%).(Tabla 11)

Tabla 11. Superficie de manglar, manglar perturbado y otros humedales dentro y fuera de las ANP y total estatal.

Estado	Superficie de manglar en ANP	Superficie de manglar fuera de ANP	Superficie total de manglar en el área buffer (ha)
Campeche	182,838.33	17,242.38	200,080.71
Yucatán	33,413.32	63,631.44	97,044.76
Quintana Roo	168,495.66	62,998.70	231,494.36

	Manglar perturbado en ANP	Manglar perturbado fuera de ANP	Total de manglar perturbado
Campeche	1,026.20	21.87	1,048.07
Yucatán	46.42	893.24	939.66
Quintana Roo	651.83	522.44	1,174.27
	Otros humedales en ANP	**Otros humedales fuera de ANP**	**Total de otros humedales**
Campeche	170,820.09	67,283.48	238,103.57
Yucatán	16,570.06	35,320.24	51,890.30
Quintana Roo	73,254.65	48,792.07	122,046.72

Las ANP con mayor superficie de cobertura de manglar, manglar perturbado y otros humedales son la RB Sian Ka´an, APFF Laguna de Términos y la RB Los Petenes. Dentro del análisis de la información, destaca que, en el Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, no se registra ninguna de las coberturas analizadas y en el APFF Porción norte y la franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel se registra una de las mayores superficies de manglar perturbado (Figura 11).

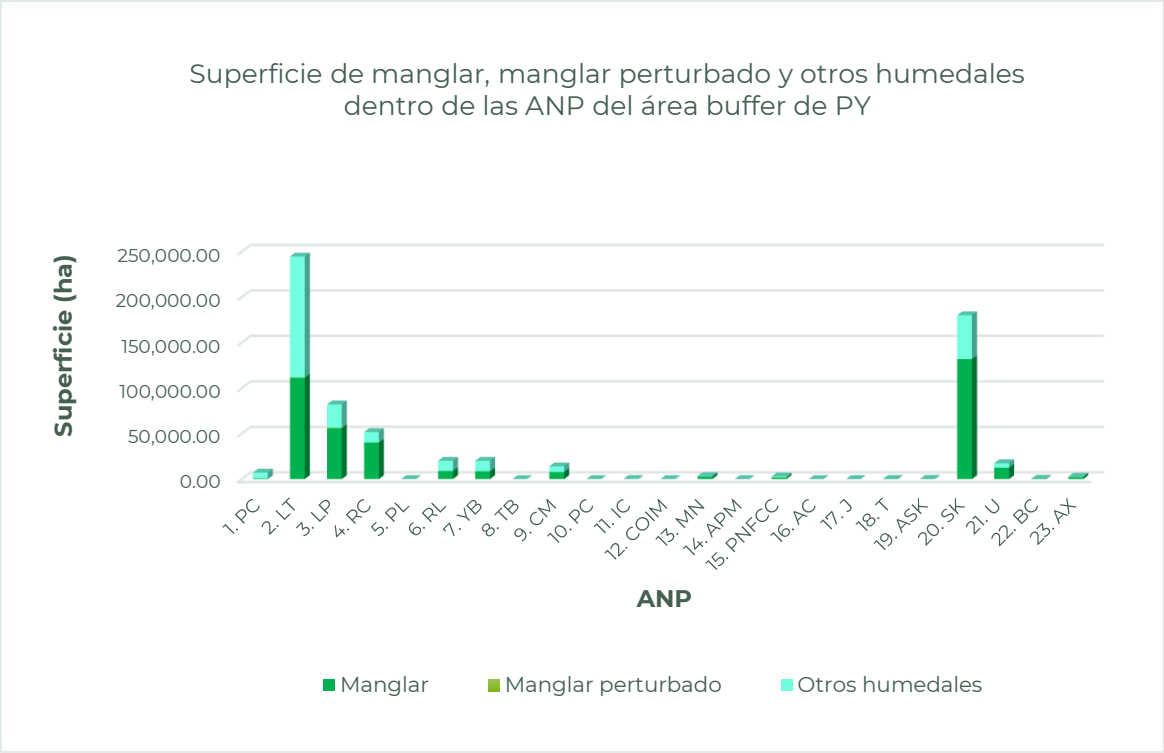


Figura 11. Superficie de manglar, manglar perturbado y otros humedales dentro de las ANP del área buffer de PY.

Nota: 1. PC: Pantanos de Centla, 2.LT: Laguna de Términos, 3. LC: Los Petenes, 4. RC: Ría Celestún, 5. PL: Playa Ría Lagartos, 6. PL: Ría Lagartos, 7. YM: Yum Balam, 8. TB: Tiburón Ballena, 9. CM: Caribe Mexicano, 10. PC: Playas de Isla Contoy, 11. IC: Isla Contoy, 12. COIM: Costa Occ. de Isla Mujeres, Pta. Cancún y Pta. Nizuc, 13. MN: Manglares de Nichupté, 14. APM: Arrecifes de Puerto Morelos, 15. PNFCC: La Porción Norte y franja costera Oriental, terrestre y marinas de la Isla de Cozumel, 16. AC: Arrecifes de Cozumel, 17. J: Jaguar, 18. Tulum, 19. ASK: Arrecifes de Sian Ka´an, 20. SK: Sian Ka´an, 21. U: Uaymil, 22. BC: Banco Chinchorro 23. AX: Arrecifes de Xcalak.

Las ANP que se encuentran dentro del área buffer de la PY, la superficie de manglar con un índice de conectividad “alto” cubre cerca del 66%, en tanto que para el índice de conectividad “muy bajo y bajo” abarca aproximadamente el 23% (Figura 12). Las ANP con mayor superficie de manglar con conectividad muy alta y alta son la RB Los Petenes y el APFF Laguna de Términos que se encuentran en Campeche. Por otra parte, las ANP en las que se encuentra la mayor superficie de manglares con un índice de conectividad “muy bajo y bajo”, son el APFF Yum Balam, el APFF Laguna de Términos, la RB Caribe Mexicano y la RB Los Petenes (Tabla 12).

Tabla 12. Superficie de categorías del índice integral de conectividad dentro de las ANP del área buffer de la PY.

ANP	Categoría	Categorías del índice integral de conectividad (Superficie en Hectáreas)				
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Pantanos de Centla	Reserva de la Biosfera	658.86				14.01
Laguna de Términos	Área de Protección de Flora y Fauna	71,365.12		14,220.80	16,229.55	9,409.95
Los Petenes	Reserva de la Biosfera	42,170.13	9,611.66		1,175.19	2,808.35
Ría Celestún	Reserva de la Biosfera	38,718.99			359.23	1,063.49
Playa Ría Lagartos	Santuario					0.04
Ría Lagartos	Reserva de la Biosfera				4,550.67	4,340.64
Yum Balam	Área de Protección de Flora y Fauna					8,594.85
Tiburón Ballena	Reserva de la Biosfera					3.08
Caribe Mexicano	Reserva de la Biosfera					7,645.45
Playas de Isla Contoy	Santuario					0.01
Isla Contoy	Parque Nacional					82.59
Costa Occ. de Isla Mujeres, Pta. Cancún y Pta. Nizuc	Parque Nacional					8.96
Manglares de Nichupté	Área de Protección de Flora y Fauna					2,817.20
Arrecifes de Puerto Morelos	Parque Nacional					
La porción norte y la franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel	Área de Protección de Flora y Fauna					1,576.21
Arrecifes de Cozumel	Parque Nacional					10.49
Jaguar	Área de Protección de Flora y Fauna					
Tulum	Parque Nacional					203.22

ANP	Categoría	Categorías del índice integral de conectividad (Superficie en Hectáreas)				
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Arrecifes de Sian Ka'an	Reserva de la Biosfera				135.77	80.35
Sian Ka'an	Reserva de la Biosfera	95,151.05		19,184.17	10,276.80	7,203.95
Uaymil	Área de Protección de Flora y Fauna	6,923.37			3,739.58	1,795.57
Banco Chinchorro	Reserva de la Biosfera					415.96
Arrecifes de Xcalak	Parque Nacional				1,436.40	765.59

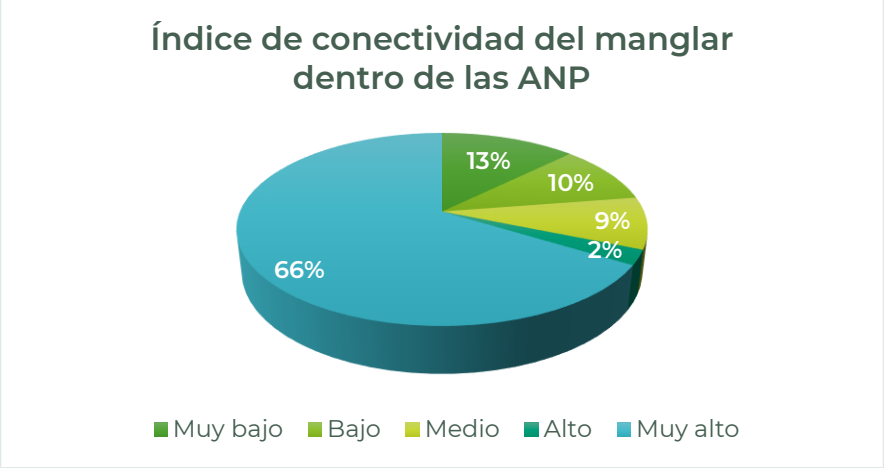


Figura 12. Índice de conectividad del manglar dentro de las ANP en el área buffer de la Península de Yucatán.

En el área buffer de la PY con manglar, manglar perturbado y otros humedales se encuentran representados 35 municipios, de los cuales siete corresponden al estado de Campeche, ocho a Yucatán y 20 a Quintana Roo. Los municipios que presenta la mayor superficie de manglar se localizan en Quintana Roo y son Felipe Carrillo Puerto y Othón P. Blanco. En el estado de Yucatán se encuentra los municipios con la menor superficie (Tabla 13).

Tabla 13. Superficie de manglar, manglar perturbado y otros humedales por municipio en el área buffer de la Península de Yucatán (dentro y fuera de ANP).

Estados/Municipios	Manglar	Manglar perturbado	Otros humedales
CAMPECHE	Superficie en hectáreas		
Calkiní	48,065.19	643.29	26,216.71
Campeche	1,849.20		1,481.24
Carmen	91,145.71	369.52	111,289.44
Champotón	12,993.00	26.39	14,943.07
Hecelchakán	10,329.69		2,040.00
Palizada	22,441.44		77,773.23
Tenabo	11,349.73	8.87	3,657.73
QUINTANA ROO	Superficie en hectáreas		

Estados/Municipios	Manglar	Manglar perturbado	Otros humedales
Benito Juárez	7,733.22	90.53	4,642.84
Cozumel	2,627.26	397.70	1,548.22
Felipe Carrillo Puerto	129,386.94	4.59	48,093.28
Isla Mujeres	11,892.68	198.95	9,583.51
Lázaro Cárdenas	4,831.14	1.35	11,834.19
Othón P. Blanco	64,931.06	412.09	43,515.28
Solidaridad	1,344.00	52.16	41.91
Tulum	4,988.86	1.55	1,814.23
YUCATAN	Superficie en hectáreas		
Celestún	27,867.10		7,277.61
Dzemul	473.37	271.80	1,282.69
Dzidzantún	572.39	1.72	1,427.09
Dzilam de Bravo	12,309.98	90.53	3,906.35
Dzilam González	132.83		143.61
Halachó	10,032.66		1,968.65
Hunucmá	20,075.98	7.69	7,340.66
Ixil	500.25	348.02	1,362.31
Kinchil			1.25
Maxcanú	2,671.50		273.26
Motul	165.53	28.76	175.66
Progreso	2,738.59	132.77	9,916.56
Río Lagartos	3,223.50		3,073.42
San Felipe	7,995.14	1.21	2,441.23
Sinanché	689.99		204.19
Telchac Puerto	692.13	11.94	377.23
Tetiz	593.22		25.11
Tizimín	4,380.51	45.21	8,020.09
Ucú	28.04		57.06
Yobaín	600.95		944.95

5. Análisis y caracterización ambiental de pastos marinos

Se estima que las praderas marinas son responsables del 15% del almacenamiento total de carbono en el océano (Kennedy y Bjork, 2009), a pesar de ocupar solo el 0.2% del área de los océanos. Los pastos marinos capturan carbono del agua de mar a través de la absorción de las plantas para la fotosíntesis, e incorporan carbono en hojas, raíces y tejido de rizomas, así como en sus partes florecientes. Gran parte del material foliar permanece en el prado de pastos marinos a medida que las hojas envejecen; las raíces y los rizomas permanecen enterrados en el sedimento (Duarte *et al.,* 2005). Todos los tejidos de las praderas marinas y una cantidad considerable de otras materias orgánicas filtradas se incorporan y se almacenan.

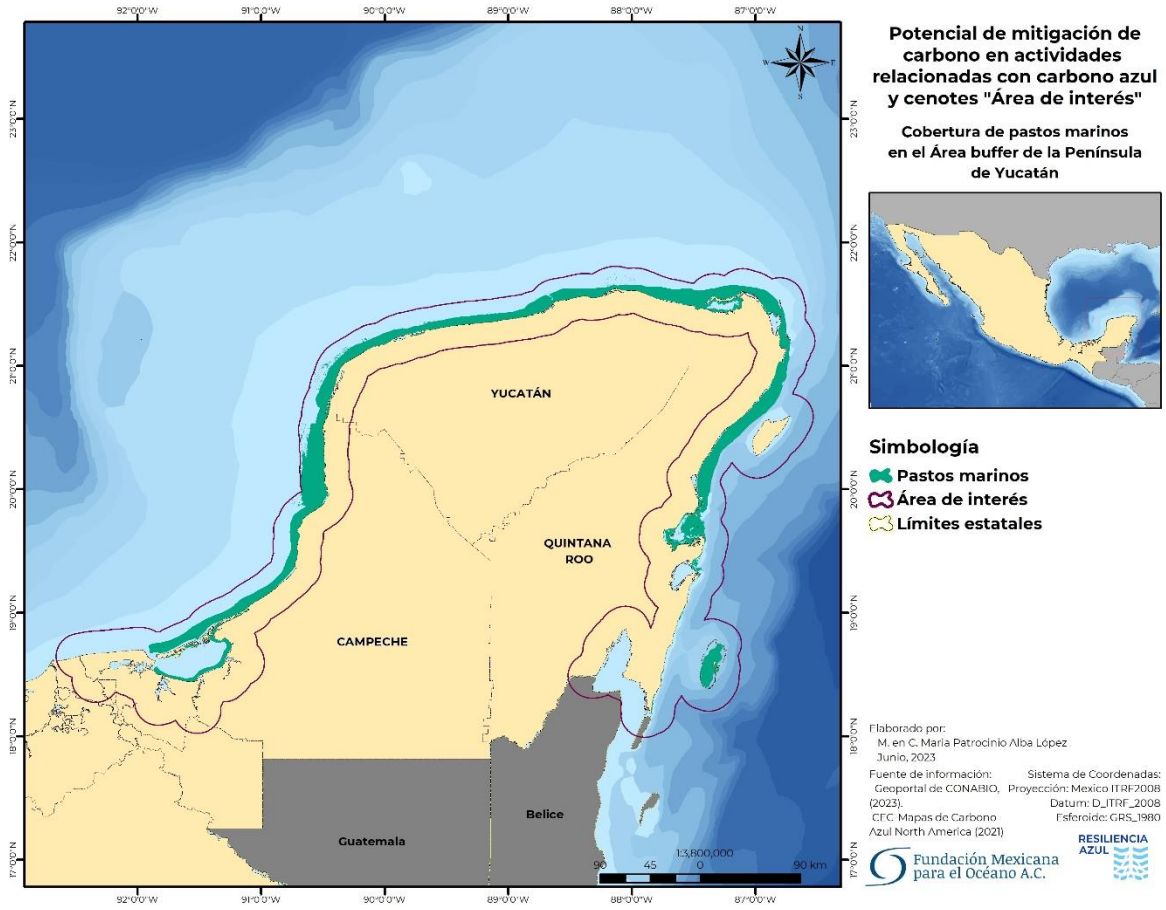
El carbono de los pastos marinos, tanto en forma de hojas como de raíces, se descompone parcialmente en los sedimentos, aumentando la cantidad de carbono orgánico en los suelos. Además, los lechos de pastos marinos acumulan carbono orgánico del entorno circundante como parte de su proceso de filtración de agua (Short y Short, 1984) y este material filtrado representa aproximadamente el 40% del almacenamiento de carbono de los pastos marinas. Los lechos de pastos marinos grandes y densos pueden secuestrar y almacenar grandes cantidades de carbono, pero tanto el secuestro como el almacenamiento varían ampliamente según la especie de pradera marina, así como según la densidad del prado. Los pastos marinos crecen rápidamente en condiciones favorables, lo que permite un importante almacenamiento de carbono en periodos de tiempo relativamente cortos.

En el caso de pastos marinos el único reporte con carácter oficial que ofrece una estimación de su cobertura es de la Comisión de Cooperación Ambiental (CCA, 2016), el cual reporta 919,300 ha cartografiadas, sin embargo, es probable que su extensión sea mayor. Para la Península de Yucatán de acuerdo con el visualizador de datos geográficos de pastos marinos y macroalgas en la zona costera de la PY, de CONABIO (2020) los pastos marinos en la región cubren 202,700 ha. Su distribución y características generales se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Distribución y características generales de los pastos marinos en la PY.

Estado	Profundidad (m)	Altura (cm)	Cobertura (%)	Superficie
Yucatán	-3.9	25.2	58	33,200 ha
Quintana Roo	-3.3	16.2	44	59, 000
Campeche	-3.3	21.4	58	110,500

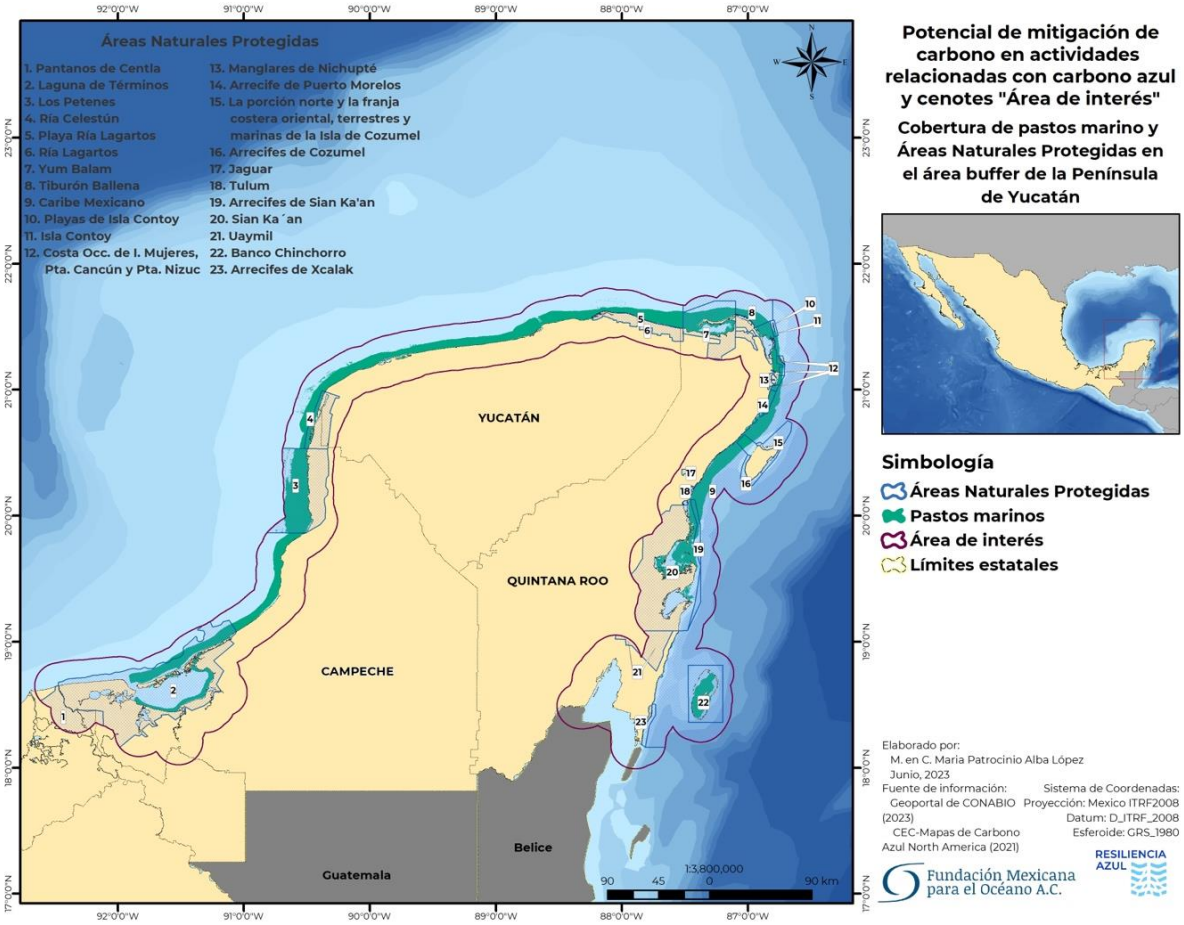
El análisis de superficie de pastos marinos en el área buffer de la Península de Yucatán (20 km) fue llevado a cabo a través de la interpretación de cobertura obtenidas en el sitio web http://www.cec.org/north-american-environmental-atlas/north-american-blue-carbon-2021/. Mediante el programa ArcMap se realizaron diversos procesamientos: el primero de ellos fue un recorte de la cobertura de pastos al área de estudio; posteriormente fue reproyectada al sistema de coordenadas México ITRF 2008-LCC y, por último, se realizó con la herramienta de geoprocesamiento de ArcGIS una simplificación de los atributos de la tabla de pastos con la herramienta *dissolve,* la cual permite fusionar polígonos cuyos valores son iguales y evitar sobre posiciones y doble contabilidad. Una vez realizado este proceso, se hizo la sobreposición de información con la cobertura de las ANP que se encuentran dentro del área de interés. Con base en la información consultada y debido a que no se cuenta con información de la condición de los pastos marinos en el área de interés, no fue posible estimar la pérdida de superficie de este ecosistema de carbono azul en una escala de tiempo.



Mapa 4. Cobertura de pastos marinos en el área buffer de la PY.

5.1 Áreas Naturales Protegidas

Con base en el análisis realizado, dentro del área buffer se reporta una superficie de pastos marinos de aproximadamente 1,086,120.43 ha, de las cuales 635,758.03 ha se encuentran distribuidas dentro del área marina de 15 Áreas Naturales protegidas (ANP). Las ANP con mayor superficie de pastos marinos son la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano, RB Los Petenes y APFF Laguna de Términos (Tabla 15).



Mapa 5. Cobertura de pastos marinos y ANP en el área buffer de la PY.

Tabla 15. Superficie de pastos marinos en las ANP de la Península de Yucatán.

Estado	Nombre de ANP	Categoría	Pastos marinos (Superficie en Hectáreas)
Campeche	Pantanos de Centla	Reserva de la Biosfera	S/D
Campeche	Laguna de Términos	Área de Protección de Flora y Fauna	119,672.30
Campeche	Los Petenes	Reserva de la Biosfera	126,512.11
Yucatán	Ría Celestún	Reserva de la Biosfera	27,754.23
Yucatán	Playa Ría Lagartos	Santuario	270.2
Yucatán	Ría Lagartos	Reserva de la Biosfera	636.04
Quintana Roo	Yum Balam	Área de Protección de Flora y Fauna	65,216.35
Quintana Roo	Tiburón Ballena	Reserva de la Biosfera	20,207.57
Quintana Roo	Caribe Mexicano	Reserva de la Biosfera	132,502.65
Quintana Roo	Playas de Isla Contoy	Santuario	0.85
Quintana Roo	Isla Contoy	Parque Nacional	1,813.17
Quintana Roo	Costa Occ. de I. Mujeres, Pta. Cancún y Pta. Nizuc	Parque Nacional	7,131.59

Estado	Nombre de ANP	Categoría	Pastos marinos (Superficie en Hectáreas)
Quintana Roo	Manglares de Nichupté	Área de Protección de Flora y Fauna	S/D
Quintana Roo	Arrecife de Puerto Morelos	Parque Nacional	8,857.29
Quintana Roo	La porción norte y la franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel	Área de Protección de Flora y Fauna	S/D
Quintana Roo	Arrecifes de Cozumel	Parque Nacional	S/D
Quintana Roo	Jaguar	Área de Protección de Flora y Fauna	S/D
Quintana Roo	Tulum	Parque Nacional	S/D
Quintana Roo	Arrecifes de Sian Ka'an	Reserva de la Biosfera	10,534.92
Quintana Roo	Sian Ka´an	Reserva de la Biosfera	72,380.59
Quintana Roo	Uaymil	Área de Protección de Flora y Fauna	S/D
Quintana Roo	Banco Chinchorro	Reserva de la Biosfera	40,885.24
Quintana Roo	Arrecifes de Xcalak	Parque Nacional	1,382.93

6. Deforestación (pérdida de cobertura forestal)

La Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO), a través del Sistema de monitoreo de manglares de México (SMMM), realiza acciones para identificar cambios en los ecosistemas de manglar a través de la evaluación periódica de su distribución espacial y condición de sus atributos naturales y sociales. En este sentido, la superficie de manglares en México, desde el año 2000 ha registrado una tasa decreciente de deforestación, similar a otros países del mundo (Hamilton y Casey, 2016). A pesar de que entre 2005 a 2015 existió una ganancia en manglares para México, estos ecosistemas continúan siendo afectados principalmente por la tala o la remoción llevada a cabo como consecuencia de las actividades agrícolas, ganaderas, acuícolas y turísticas (CONABIO, 2020). Antes del año 2000, la investigación y el monitoreo de manglares era incipiente, además prevalecía en México una débil política de protección de estos ecosistemas. Actualmente, el análisis de coberturas y superficies a través de herramientas como los sistemas de información geográfica permiten contar con un sistema robusto de monitoreo y verificación de las dinámicas de cambio de uso de suelo en manglares.

La CONABIO estableció para 2005 la línea base de la cartografía del Sistema de Monitoreo de los Manglares de México, a partir de la cual se ha obtenido también la cartografía para 1970/1980, 2010, 2015 y 2020. Los mapas de distribución de manglares de México han sido generados principalmente con imágenes de satélite de alta resolución espacial (10 m), excepto para 1970/1980 para el cual se usaron fotografías aéreas históricas. En la cartografía de fechas anteriores, en diversas zonas de Sian Ka'an y Uaymil, las imágenes de satélite usadas (SPOT 5) y la información fotográfica, no brindaban información decisiva que pudiera indicar la dominancia del manglar, debido a esto se consideraron dentro de la clase "Otros humedales". Para el mapa 2020, utilizando imágenes de satélite Sentinel-2 2020, y tecnologías complementarias novedosas, se logró obtener una respuesta más certera que indicaba la presencia de vegetación de manglar y agua.

Según los reportes de CONABIO, en las fechas de análisis (de 1970 a 2015) se identificaron pérdidas y ganancias en la extensión de manglar. De 1981 al 2005 predominaron las pérdidas, mientras que los periodos de 2005 a 2015 registraron cambios positivos en la vegetación, los cuales según Troche-Souza *et al.,* 2016, son resultado de la recuperación de manglar, la colonización de nuevas áreas y mejoras en la cartografía que permitió identificar áreas difíciles de identificar anteriormente.

Por lo que la evidencia acumulada de fotografías aéreas, visitas de campo durante las campañas de 2008 y 2015, así como la retroalimentación por parte de la CONANP, ayudaron a sustentar la decisión de reclasificar a "Manglar" una superficie de 83,791 ha, dentro de estas dos áreas, que antes estaba catalogada como "Otros humedales"(Tabla 16, Figura 13).

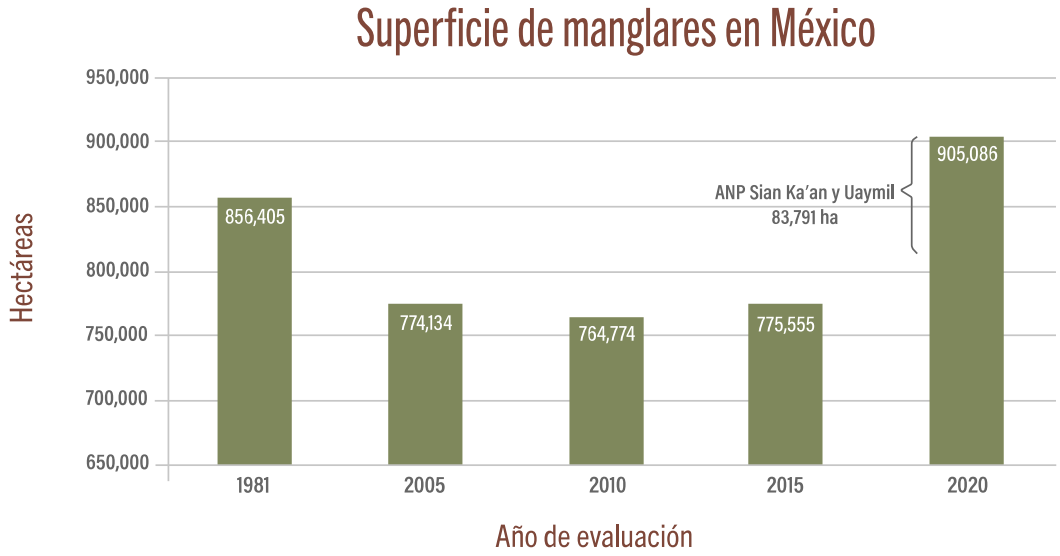


Figura 13. Superficies de manglares en México. Fuente: CONABIO 2020.

Tabla 16. Superficies de manglar en la PY.

Región	Estado	Superficie año inicial* (ha)		Superficie 2005 (ha)	Superficie 2010 (ha)	Superficie 2015 (ha)	Superficie 2020 (ha)
		Año inicial*	Manglar	Manglar	Manglar	Manglar	Manglar
Total G.M.			89,650	87,474	85,532	87,048	95,585
Península de Yucatán	Campeche	1981	216,969	199,662	197,623	198,853	200,279
	Yucatán	1981	98,756	91,701	91,348	93,171	96,873
	Quintana Roo	1979	137,910	130,210	128,048	129,902	247,017
Total P.Y.			453,635	421,573	417,019	421,926	544,169
TOTALES			856,405	774,134	764,774	775,555	905,086

Troche-Souza y colaboradores (2016) reportan que el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP) y el reconocimiento de otros mecanismos de conservación como la designación de humedales de importancia internacional (Sitios Ramsar) constituyen en este momento las principales herramientas de conservación para manglares en México. Poco a poco la designación y el reconocimiento de los sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica emitidos por la CONABIO favorecen también su conservación, así como acciones de restauración. Desde la década de 1970/1980 hasta 2015 se ha identificado un incremento de la superficie de manglar bajo la protección de ANP, lo cual, a nivel del país representa un esfuerzo muy importante de protección de este ecosistema.

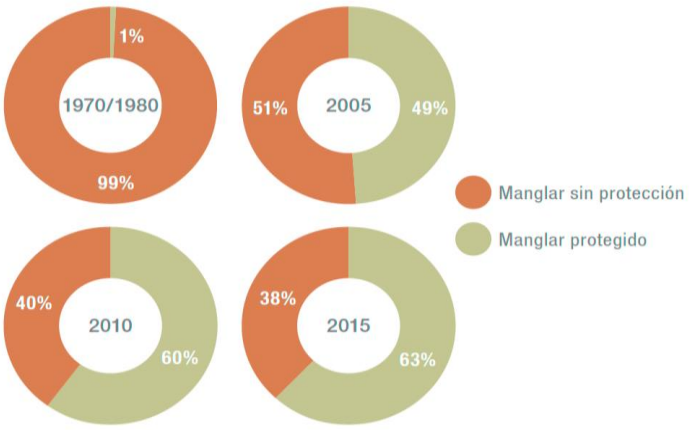


Figura 14. Porcentaje de la superficie de manglar protegido a nivel nacional en México bajo el esquema de Área Natural Protegida en cuatro fechas de estudio (Troche-Souza *et al*., 2016)

6.1 Estratificación

Dentro del marco del estándar VCS (Verified Carbon Standard), una parte integral de los proyectos es la clasificación de las zonas degradadas y conservadas. Este proceso implica la estratificación del área del proyecto con características relevantes, como la ubicación geográfica, y el estado de conservación o degradación. Mediante esta clasificación, se puede realizar una evaluación más precisa y representativa de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y del potencial de remoción de emisiones. Al diferenciar las zonas degradadas de las conservadas, se logra identificar y cuantificar de manera más efectiva las actividades específicas que contribuyen al impacto del proyecto o iniciativa de carbono azul y las medidas necesarias para su restauración y conservación. Esta estrategia de clasificación fortalece la confiabilidad y la robustez de los resultados, que respaldan la credibilidad del enfoque de cuantificación de la remoción de emisiones y fomentan la implementación efectiva de acciones de mitigación en las áreas degradadas.

7. Almacenes de carbono en manglares

A partir de la búsqueda bibliográfica sobre estudios publicados y resultados previos existentes en los sitios de interés; estudios de factibilidad de cálculo de emisiones de carbono, liberación de CO_2 a la atmósfera y almacenes de carbono para los ecosistemas de CA, se realizó una síntesis de los almacenes de interés para la estimación de la remoción de emisiones por Aforestación, Revegetación y Reforestación (ARR) y Conservación y restauración de humedales (WRC) para cada sitio. En la Tabla 17 se muestra un resumen de las fuentes bibliográficas utilizadas para cada uno de los almacenes:

Tabla 17. Resumen de las fuentes bibliográficas utilizadas para cada uno de los almacenes

Insumo	**Descripción**
Crecimiento de biomasa aérea en manglares	Se consideró constante para los tres estados de la PY. El valor fue el reportado por Teutli-Hernández *et al*., (2016). Una aproximación a la integración de escalas ecológicas para la restauración de ecosistemas de manglar. Tesis de doctorado. Universidad de Barcelona
Biomasa aérea	Los valores fueron estimados para cada estado con base en la revisión bibliográfica realizada.
Almacén de carbono orgánico del suelo	Los valores fueron estimados para cada localidad con base en la revisión bibliográfica realizada. Para el estado de Campeche se utilizó el valor reportado por Espinosa-Garduño, M., Cinco-Castro, S. & López-Rosario, S. (2010), para Yucatán el valor reportado por Herrera-Silveira JA *et al.,* (2020) y para Quintana Roo Herrera-Silveira *et al.,* en prep.
Pérdida de carbono	Se consideró para Yucatán el valor reportado por Atwood *et al*., (2017), para Campeche el valor reportado por Cinco-Castro, S., y Espinosa-Garduño, M. (2021) y para Quintana Roo el valor reportado por IPCC (2013), Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero: Humedales, Capítulo 4. Tabla 4.13.
Pérdida de carbono del suelo	Se consideró un valor constante para todas las localidades con base en: IPCC (2013). Suplemento a las Directrices IPCC de 2006 para los Inventario Nacionales de Gases de Efecto Invernadero: Humedales, Capítulo 4, Tabla 4.13.
Pérdida máxima de carbono	Se consideró un valor constante para los tres estados con base en Espinosa-Garduño, M., Cinco-Castro, S. & López-Rosario, S. (2010) Patrones globales en los inventarios y pérdidas de carbono en el suelo de los manglares. Nature Climate Change, 7(7), 523-528.
Pérdida de carbono del suelo *in situ*	Para Yucatán y Quintana Roo se consideró un valor constante para todas las localidades con base en: IPCC (2013). Suplemento a las Directrices IPCC de 2006 para los Inventario Nacionales de Gases de Efecto Invernadero: Humedales, Capítulo 4, Tabla 4.13. Para Campeche se

	consideró el valor reportado por Cinco-Castro, S., y Espinosa-Garduño, M. (2021).
Ganancia de carbono	Se consideró un valor constante para todas las localidades con base en Arenas, G. P. (2019). The potential of Blue Carbon Management in Mexico: a case study from the Biosphere Reserve of Sian Ka'an. Tesis de maestría. Manchester, Reino Unido.
Ganancia máxima de carbono	Para Campeche se consideró como valor constante utilizando el valor reportado para la RBRC según Cinco-Castro S, Herrera-Silveira J. y Comín F. (2022). Para Yucatán el valor reportado por Teutli-Hernández, C., y Herrera-Silveira, J. A. (2016). Para Quintana Roo el valor reportado por IPCC_2013. Capítulo 4. Tabla 4.13
Origen autóctono del suelo C %	Se consideró un valor constante para todas las localidades con base en Cinco-Castro S, Herrera-Silveira J and Comín F (2022): Sedimentation as a Support Ecosystem Service in Different Ecological Types of Mangroves. Front. For. Glob. Change 5:733820. DOI: 10.3389/ffgc.2022.733820.
Proporción de raíces (R)	Se tomó el valor de Atwood reportado para todos los estados como valor genérico, ya que el estudio brinda datos a nivel mundial.

En el siguiente enlace (almacenes de carbono) se presenta que el mayor almacén de carbono es Quintana Roo.

8. Almacenes de carbono en pastos marinos

En el caso específico de los pastos marinos, existe muy poca investigación sobre los almacenes y la superficie degradada. La falta de una estimación precisa del área de las praderas marinas en todo el continente dificulta aún más la posibilidad de realizar una estimación clara de las existencias y sumideros de carbono azul en este ecosistema. Se necesita mayor investigación para mejorar las estimaciones de cuánto carbono queda atrapado en estos ecosistemas y se cuánto se libera a la atmósfera debido a su conversión.

Desafortunadamente, los datos disponibles para evaluar el secuestro y almacenamiento de carbono azul se basan en estimaciones globales; la discusión más completa sobre el carbono azul de los pastos marinos se encuentra en Nellemann *et al*., (2009) que reporta a nivel global. Para la presente consultoría se tomaron los datos del reporte técnico de: "Almacenes de carbono en manglar y pastos marinos del área de protección de flora y fauna reserva de Yum Balam" realizado por el Programa Mexicano de Carbono en colaboración con el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) y el Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA). El análisis de las áreas con presencia de pastos marinos junto a los almacenes promedio de la APFFYB demuestra una alta capacidad para almacenar y secuestrar carbono. Se estiman un total de 19.3 TgCO2 equivalente (millones de Toneladas).

La biomasa viva de pastos marinos sobre la APFF Yum Balam representa un almacén de carbono promedio de 3.2 MgC ha^{-1}. El almacén de carbono en los sedimentos fue menos heterogéneo, registrando el valor más alto con 601.0 y el más bajo de 71.2 MgC ha^{-1}.

Además de esto, no se cuenta con información sobre la pérdida de superficie de pastos marinos. La falta de una estimación precisa del área de pastos marinos, su condición y cambio en el tiempo tanto para México como a nivel global, dificulta la posibilidad de realizar cálculos sobre las remociones con actividades de aforestación y revegetación (restauración ecológica).

9. Almacenes de carbono en otros humedales

Los humedales son ecosistemas que se caracterizan por que el suelo o sustrato están saturados de agua de manera temporal o permanente; presentan una lámina o capa de agua poco profunda o agua subterránea próxima a la superficie del terreno, ya sea permanente o temporal; y al menos periódicamente, el terreno debe mantener predominantemente una vegetación acuática o hidrófila. Son sitios que proporcionan una gran variedad de recursos y servicios ambientales de valor para la sociedad (citado en Landgrave y Moreno-Casasola, 2011).

Los humedales engloban un gran conjunto de ecosistemas establecidos en agua dulce, salobre, salina e hipersalina; abarcan un gradiente en la periodicidad y la permanencia de saturación e inundación, albergan además a distintas combinaciones de formas de crecimiento herbáceas, arbustivas y arbóreas (Wheeler *et al*., 2002, citado en: Landgrave y Moreno-Casasola, 2011), los tipos de coberturas de vegetación que comprenden son vegetación halófila, manglar, tular, popal y bosque de galería, así como cuerpos de agua. Moreno-Casasola, Infante-Mata y López-Rosas (2012) clasificaron a los humedales mexicanos de acuerdo con el tipo de las comunidades vegetales; los humedales herbáceos identificados en el país son: carrizales, popales, juncales y potreros inundables; mientras que los humedales arbóreos incluyen: manglares, selvas y palmares inundables.

La información existente sobre los almacenes de carbono en otros humedales que no son manglares es limitada y fragmentada. En comparación con los manglares, se ha prestado menos atención a la cuantificación precisa de los almacenes de carbono en otros tipos de humedales. Sin embargo, algunos estudios indican que estos humedales también pueden desempeñar un papel importante en la captura y almacenamiento de carbono.

En una revisión bibliográfica realizada por Hernández y Moreno-Casasola (2018) sobre los almacenes y flujos de carbono en humedales de agua dulce en México, se presenta información sobre Yucatán. Este estudio reporta datos sobre almacenes de carbono en suelo, biomasa aérea y raíces en humedales herbáceos (popales, tulares y carrizales), humedales arbóreos (selvas inundables y palmares); así como que los mayores almacenes de carbono en los suelos de humedales de agua dulce mexicanos se han registrado para los humedales arbóreos, también llamados selvas inundables siendo mayores en las selvas inundables de Chiapas (610 Mg C ha^{-1}) que en las selvas inundables de Veracruz (390 Mg C ha^{-1}) Tabla 18.

Tabla 18. Información sobre los principales componentes de almacenes reportados por Hernández y Moreno Casasola 2018.

Tipo de humedal	Biomasa de raíces	Biomasa aérea	Carbono en suelo
Selvas inundables de Veracruz	2 Mg C ha^{-1} (Hernández *et al*., 2016)	S/D	390 Mg C ha-1 (Adame *et al*., 2015)
Selvas inundables de Chiapas	18 Mg C ha-1 (Adame *et al*., 2015)	162 Mg C ha-1	610 Mg C ha-1 (Adame *et al*., 2013)
Humedales herbáceos Veracruz	11 Mg C ha-1 (Hernández y Moreno-Casasola, *2018*)	4 a 9 Mg C ha-1 (Adame *et al*., 2013)	360 Mg C ha-1 (Marín-Muñiz, 2014)
Potreros inundables, Veracruz	5 Mg C ha-1 (Hernández y Moreno-Casasola, *2018*)	S/D	150 Mg C ha1 (Hernández y Campos, *et al.,* 2016)

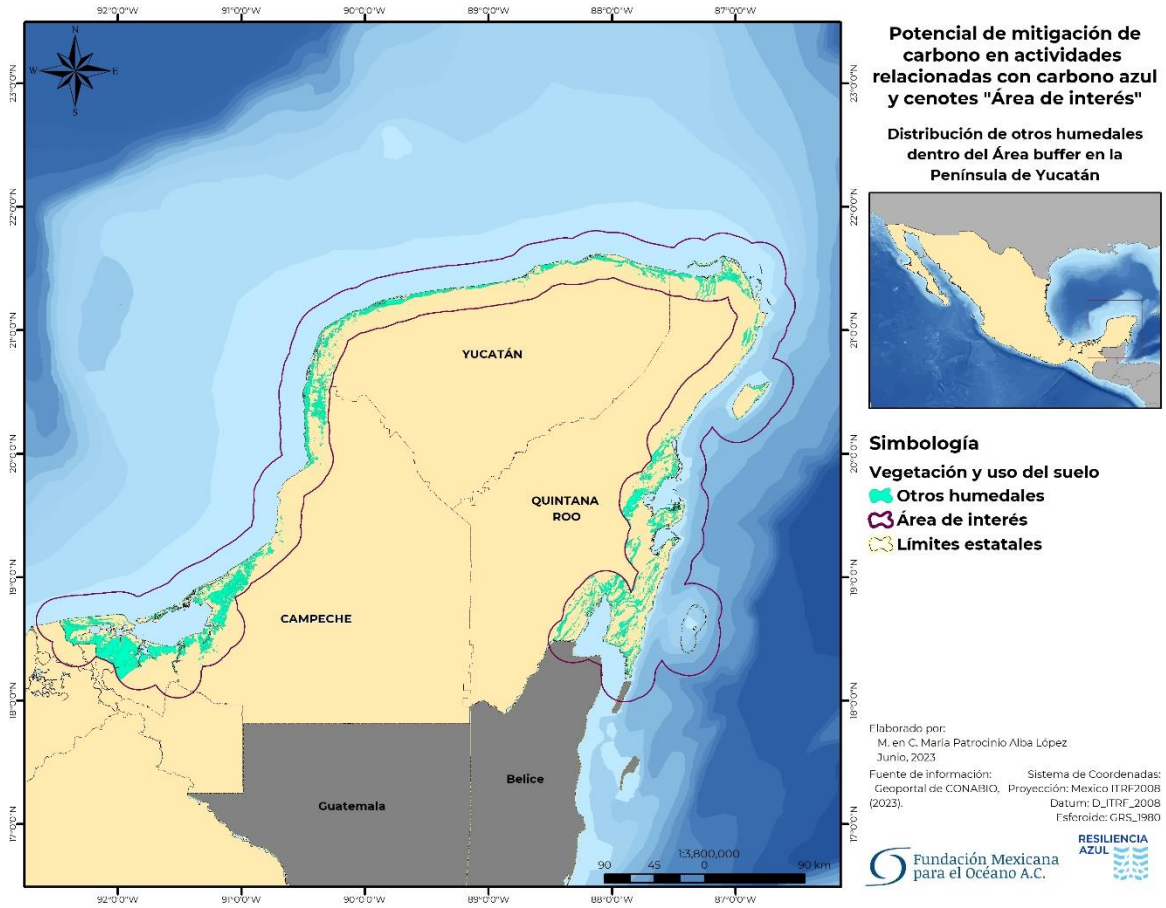
Tipo de humedal	Biomasa de raíces	Biomasa aérea	Carbono en suelo
Yucatán	S/D	10 Mg C ha^{-1} (Adame *et al*., 2013)	entre 200 y 250 Mg C ha^{-1} (Hernández y Moreno-Casasola, *2018*)
Chiapas	S/D	38 Mg C ha^{-1} (Hernández *et al*., 2016)	entre 200 y 250 Mg C ha^{-1} (Hernández y Moreno-Casasola, *2018*)

En cuanto a la superficie de otros humedales en la región de Península de Yucatán y de acuerdo con los datos de SMMM-CONABIO, dentro del mapa de vegetación y uso del suelo de la zona costera asociada a manglares (2020) la cobertura de otros humedales se incluye a la vegetación hidrófita de popal-tular-carrizal, además de pastizales inundables, vegetación hidrófita o halófila con individuos de mangle dispersos o en pequeños islotes y los terrenos salinos costeros con poca cubierta vegetal.

La superficie de otros humedales dentro del área buffer de 20 km en la Península de Yucatán es de 412,040.58 ha. El estado con mayor superficie es Campeche (Tabla 20).

Tabla 19. Superficie de otros humedales por estado en el área buffer de PY.

Estado	Otros humedales (Superficie en hectáreas)
Campeche	238,103.57
Yucatán	51,890.30
Quintana Roo	122,046.72
Total	**412,040.58**



Mapa 6. Distribución de otros humedales dentro del área buffer en la PY.

El ANP que presentan la mayor superficie de otros humedales son: APFF Laguna de Términos (132,976.5 ha), RB Sian Ka´an con 48,277.5 ha, RB Ría Celestún con (11,56.8 ha) y RB Ría Lagartos con (11,165.7 ha) Tabla 20.

Tabla 20. Superficies de otros humedales en la PY.

Estado	Nombre de ANP	Categoría	Superficies del ANP (ha)			Otros humedales (Superficie en ha)
			Área total de Extensión	Superficie Terrestres	Superficie Marina	
Campeche	Pantanos de Centla	Reserva de la Biosfera	302,706.63	302,706.63	0	6,436.28
Campeche	Laguna de Términos	Área de Protección de Flora y Fauna	706,147.67	547,278.71	158,868.96	132,976.53
Campeche	Los Petenes	Reserva de la Biosfera	282,857.63	100,866.53	181,991.10	25,676.19
Yucatán	Ría Celestún	Reserva de la Biosfera	81,482.34	61,926.57	19,555.76	11,561.80
Yucatán	Playa Ría Lagartos	Santuario	827.36	827,36	0	13.25
Yucatán	Ría Lagartos	Reserva de la Biosfera	60,347.83	60,347.83	0	11,165.66

Estado	Nombre de ANP	Categoría	Superficies del ANP (ha)			Otros humedales (Superficie en ha)
			Área total de Extensión	Superficie Terrestres	Superficie Marina	
Quintana Roo	Yum Balam	Área de Protección de Flora y Fauna	154,052.25	52,307.62	101,744.63	11,518.57
Quintana Roo	Tiburón Ballena	Reserva de la Biosfera	145,988.14	0,00	145988,14	0.10
Quintana Roo	Caribe Mexicano	Reserva de la Biosfera	5,754,055.36	28,589.50	5,725,465.87	6,100.33
Quintana Roo	Playas de Isla Contoy	Santuario	10.75	10.75	0	0.52
Quintana Roo	Isla Contoy	Parque Nacional	5,126.26	230.00	4,896.26	17.88
Quintana Roo	Costa Occ. de I. Mujeres, Pta. Cancún y Pta. Nizuc	Parque Nacional	8,673.06	0.61	8,672.45	S/D
Quintana Roo	Manglares de Nichupté	Área de Protección de Flora y Fauna	4,257.50	4,257.50	0.00	554.09
Quintana Roo	Arrecife de Puerto Morelos	Parque Nacional	9,066.63	37.74	9,028.89	S/D
Quintana Roo	La porción norte y la franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel	Área de Protección de Flora y Fauna	37,829.17	5,733.21	32,095.96	1,066.64
Quintana Roo	Arrecifes de Cozumel	Parque Nacional	11,987.88	82.28	11,905.60	8.17
Quintana Roo	Jaguar	Área de Protección de Flora y Fauna	2,249.71	2,249.71	0.00	4,67
Quintana Roo	Tulum	Parque Nacional	664.32	664.32	0.00	10.23
Quintana Roo	Arrecifes de Sian Ka'an	Reserva de la Biosfera	34,927.16	1,361.00	33,566.16	S/D
Quintana Roo	Sian Ka´an	Reserva de la Biosfera	528,147.67	375,011.87	153,135.80	48,277.48
Quintana Roo	Uaymil	Área de Protección de Flora y Fauna	89,118.15	89,118.15	0.00	4,904.10
Quintana Roo	Banco Chinchorro	Reserva de la Biosfera	144,360.00	585.79	143,774.21	17.76
Quintana Roo	Arrecifes de Xcalak	Parque Nacional	17,949.46	4,521.84	13,427.62	334.56

Moreno-Casasola (2008), menciona que, con excepción de los manglares, las coberturas de otros humedales no han logrado adquirir una relevancia que permita contar con una legislación que los proteja del uso sustentable y garantice su conservación. Además, menciona que existen varias causas de pérdida de humedales en el país, que incluyen desde la desecación ya sea por drenaje, elevación del nivel del suelo, recubrimiento con geotextiles, entre otros, con la finalidad de realizar actividades agropecuarias y desarrollos inmobiliarios, construcción de obras de infraestructura que taponan y modifican los patrones de flujo de agua, represamiento, canalización, dragado y extracción de agua, contaminación e invasión de especies.

Por otro lado, la falta de información cartográfica específica para este tipo de cobertura limitó la realización de un análisis adecuado sobre los cambios en la superficie de este ecosistema. Considerando que los humedales juegan un papel importante en la ecología de los ecosistemas marino-costeros es necesario implementar acciones que coadyuven a la generación de estas capas de información cartográfica.

10. Análisis de factibilidad ambiental y social para el desarrollo de un proyecto agrupado de carbono azul bajo esquemas de mercados en Península de Yucatán

10.1 Caracterización de ejidos en el área de interés

Los "núcleos agrarios o ejidos" son una institución constituida formalmente por el gobierno federal mexicano como parte de su Ley Agraria en el año 1915, mediante la cual se asigna la propiedad a un grupo demográfico determinado. El ejido es una forma de propiedad social en la cual los derechos de propiedad conferidos a este grupo demográfico son inalienables, intransferibles e inconfiscables. Un aspecto relevante es que este tipo de propiedad deberá explotarse como una unidad de producción integral, preferentemente organizada conforme a lineamientos colectivos (Banco Mundial, 2022).

Dentro del área interés se encuentran 340 ejidos, de los cuales 123 pertenecen a Campeche, 152 a Yucatán y 65 a Quintana Roo, estos ocupan una superficie dentro del área buffer de 1,087,728. 85 ha. Al hacer el cruce de información entre las ANP y los ejidos, se identifica que hay 85 ejidos que están dentro o parcialmente dentro de las ANP los cuales cubren una superficie de 221,403.44 ha y los ejidos que quedan fuera ocupan una superficie de 866,025.41 ha. Las ANP con mayor superficie ejidal dentro de sus límites son el APFF Laguna de Términos con 78,780.86 ha (distribuida en 12 núcleos agrarios), seguida de la RB Los Petenes, 49,380.98 ha dentro de 11 ejidos y el APFF Yum Balam con 45,582.65ha, con 7 núcleos agrarios (Tabla 21).

Tabla 21. Superficies ejidales dentro de ANP.

Estado	ANP	Número de ejidos	Superficie ejidal	Superficie terrestre ANP	Superficie terrestre ANP fuera del ejido
			(Superficie en hectáreas)		
Campeche-Tabasco	Pantanos de Centla	1	4,039.84	302,706.63	299,622.63
Campeche	Laguna de Términos	12	78,780.86	547,278.71	468,501.09
	Los Petenes	11	49,380.98	100,866.53	51,485.55
Campeche-Yucatán	Ría Celestún	3	1,168.90	61,926.57	60,757.67
Yucatán	Playa Ría Lagartos	1	18.72	827.36	808.64
	Ría Lagartos	7	20,966.89	60,347.83	39,380.94
Quintana Roo	Yum Balam	7	45,582.65	52,307.62	6,724.97
	Tiburón Ballena			0.00	
	Caribe Mexicano	3	10,776.56	28,589.50	17,812.94
	Playas de Isla Contoy			10.75	
	Isla Contoy			230.00	
	Costa Occ. de I. Mujeres, Pta. Cancún y Pta. Nizuc			0.61	
	Manglares de Nichupté			4,257.50	

Estado	ANP	Número de ejidos	Superficie ejidal	Superficie terrestre ANP	Superficie terrestre ANP fuera del ejido
			(Superficie en hectáreas)		
	Arrecife de Puerto Morelos			37.74	
	La porción norte y la franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel			5,733.21	
	Arrecifes de Cozumel			82.28	
	Jaguar			2,249.71	
	Tulum			664.32	
	Arrecifes de Sian Ka'an	1	196.41	1,361.00	1,164.59
	Sian Ka´an	5	10,254.45	375,011.87	364,757.42
	Uaymil	1	525.86	89,118.15	88,592.29
	Banco Chinchorro			585.79	
	Arrecifes de Xcalak			4,521.84	

La superficie de tierras dotadas a los ejidos en México es manejada bajo un uso parcelado y terrenos ejidales o comunales. Las superficies de uso parcelado son aquellas tierras del ejido o comunidad agraria fraccionadas y distribuidas o asignadas individualmente entre sus integrantes para su explotación, sea ésta en forma individual, en grupo o colectivamente. Los terrenos ejidales o comunales (uso común), son las tierras que constituyen el sustento económico de la vida en comunidad de los núcleos y por exclusión, siendo conformadas por aquellas tierras que no han sido reservadas por la asamblea para el asentamiento humano, ni destinadas y asignadas como parcelas.

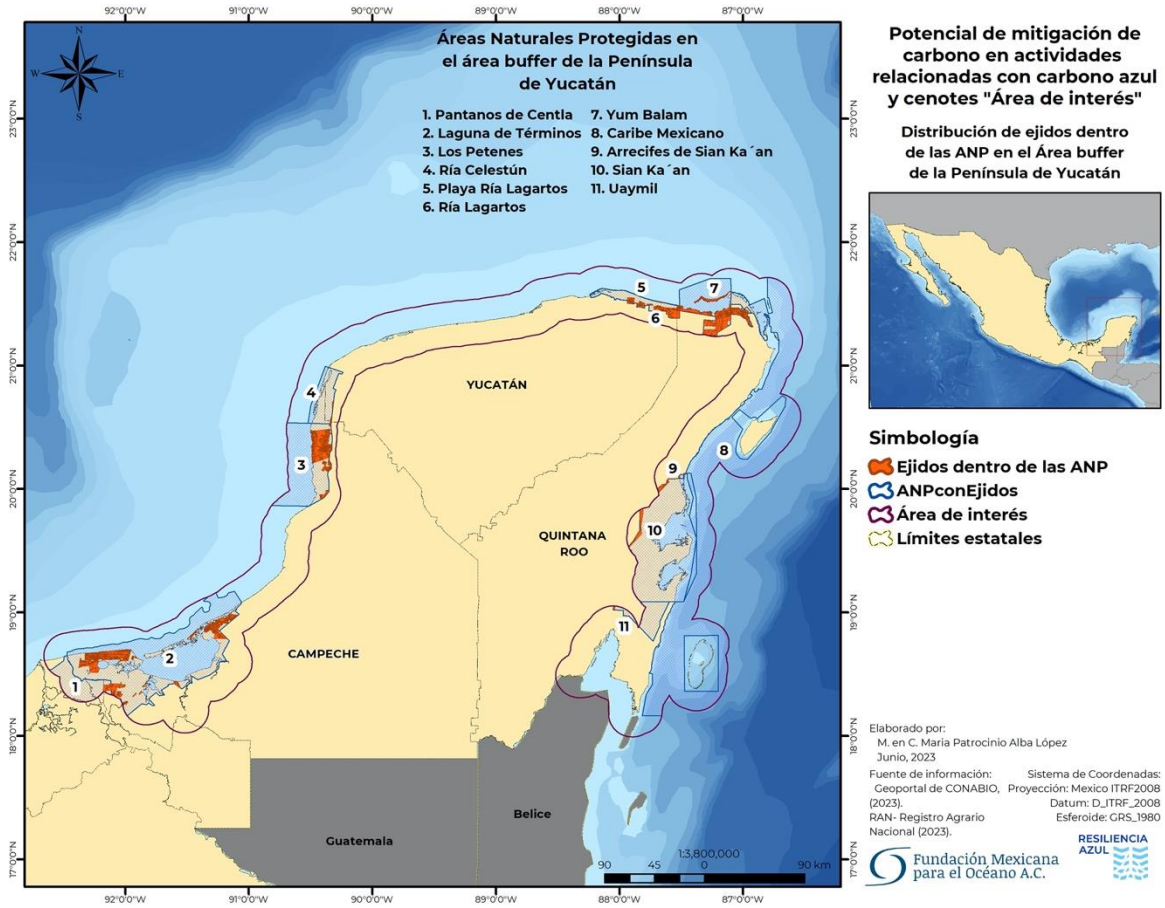
A continuación, se presentan las superficies identificadas para los ejidos que se encuentran dentro de las ANP del área de interés en la Península de Yucatán, por uso del suelo parcelado y común. Además del número de ejidatarias/os registrados en el Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA). Este dato es de particular importancia ya que los proyectos encaminados a restaurar y/o conservar áreas de manglar bajo mecanismos asociados al mercado voluntario de carbono (MVC), deberán identificar la superficie en la que se tendrá incidencia ya que esto determinará la propiedad del carbono y, por tanto, el mecanismo de distribución de beneficios y gobernanza de la intervención.

Tabla 22. Superficies y número de ejidos que están dentro de las ANP del área buffer de la PY. Fuente: PHINA, 2023.

Estado	ANP	Número de ejidos	Superficie de ejido dentro del ANP	Superficie terrestre ANP
			(Superficie en hectáreas)	
Campeche-Tabasco	Pantanos de Centla	1	4,039.84	302,706.63
Campeche	Laguna de Términos	12	78,777.62	547,278.71
	Los Petenes	11	49,380.52	100,866.53
Campeche-Yucatán	Ría Celestún	3	1,166.93	61,926.57

Estado	ANP	Número de ejidos	Superficie de ejido dentro del ANP	Superficie terrestre ANP
			(Superficie en hectáreas)	
Yucatán	Playa Ría Lagartos	1	18.72	827.36
	Ría Lagartos	7	18,776.72	60,347.83
Quintana Roo	Yum Balam	7	45,578.98	52,307.62
	Tiburón Ballena			0.00
	Caribe Mexicano	3	10,776.81	28,589.50
	Playas de Isla Contoy			10.75
	Isla Contoy			230.00
	Costa Occ. de I. Mujeres, Pta. Cancún y Pta. Nizuc			0.61
	Manglares de Nichupté			4,257.50
	Arrecife de Puerto Morelos			37.74
	La porción norte y la franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel			5,733.21
	Arrecifes de Cozumel			82.28
	Jaguar			2,249.71
	Tulum			664.32
	Arrecifes de Sian Ka'an	1	196.41	1,361.00
	Sian Ka´an	5	10,255.29	375,011.87
	Uaymil	1	525.79	89,118.15
	Banco Chinchorro			585.79
	Arrecifes de Xcalak			4,521.84

Nota: Los datos de superficie y beneficiarios fueron tomados de las fichas técnicas para cada ejido, consultado en la página del PHINA.



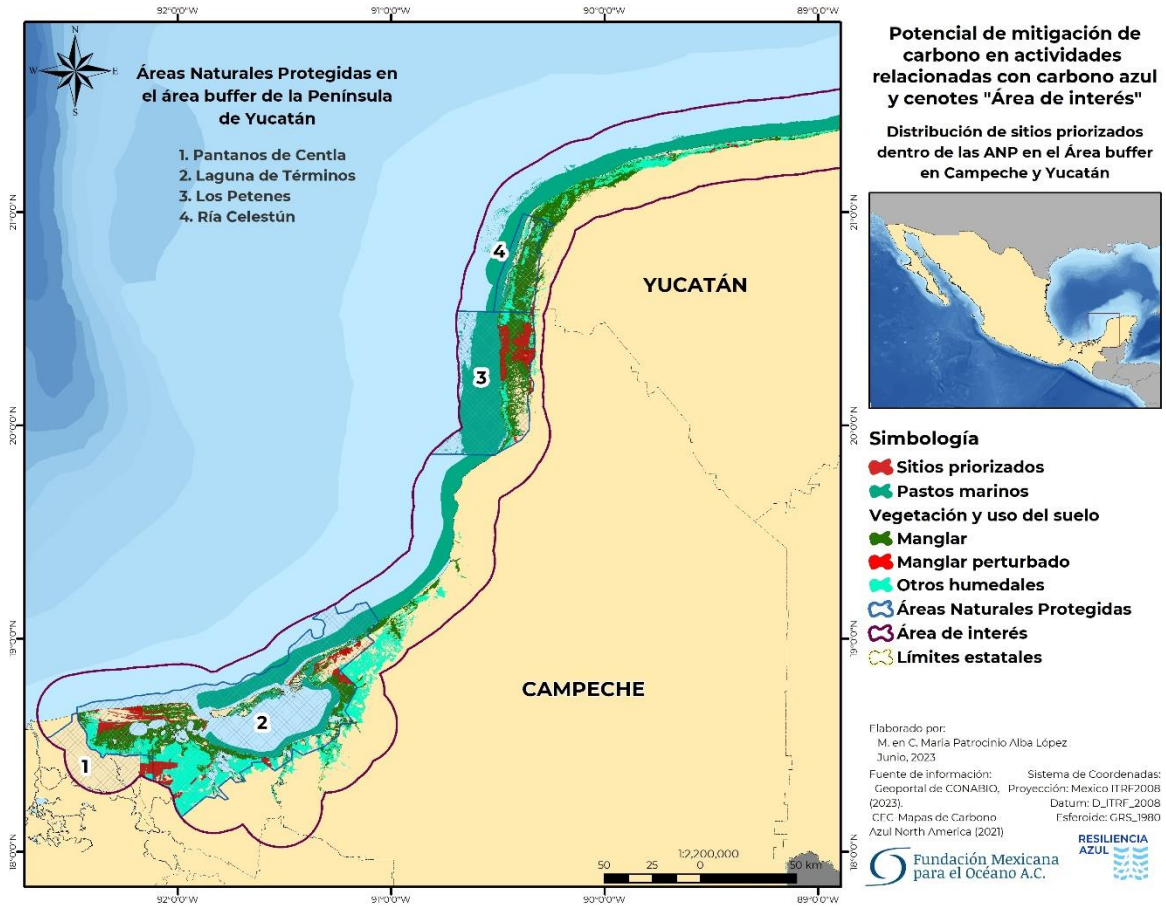
Mapa 7.Distribución de ejidos dentro y fuera de las Áreas Naturales Protegidas que se ubican en el área de interés (buffer 20 km) en la Península de Yucatán.

10.2 Iniciativas de carbono azul en propiedad social, selección y caracterización de sitios de interés

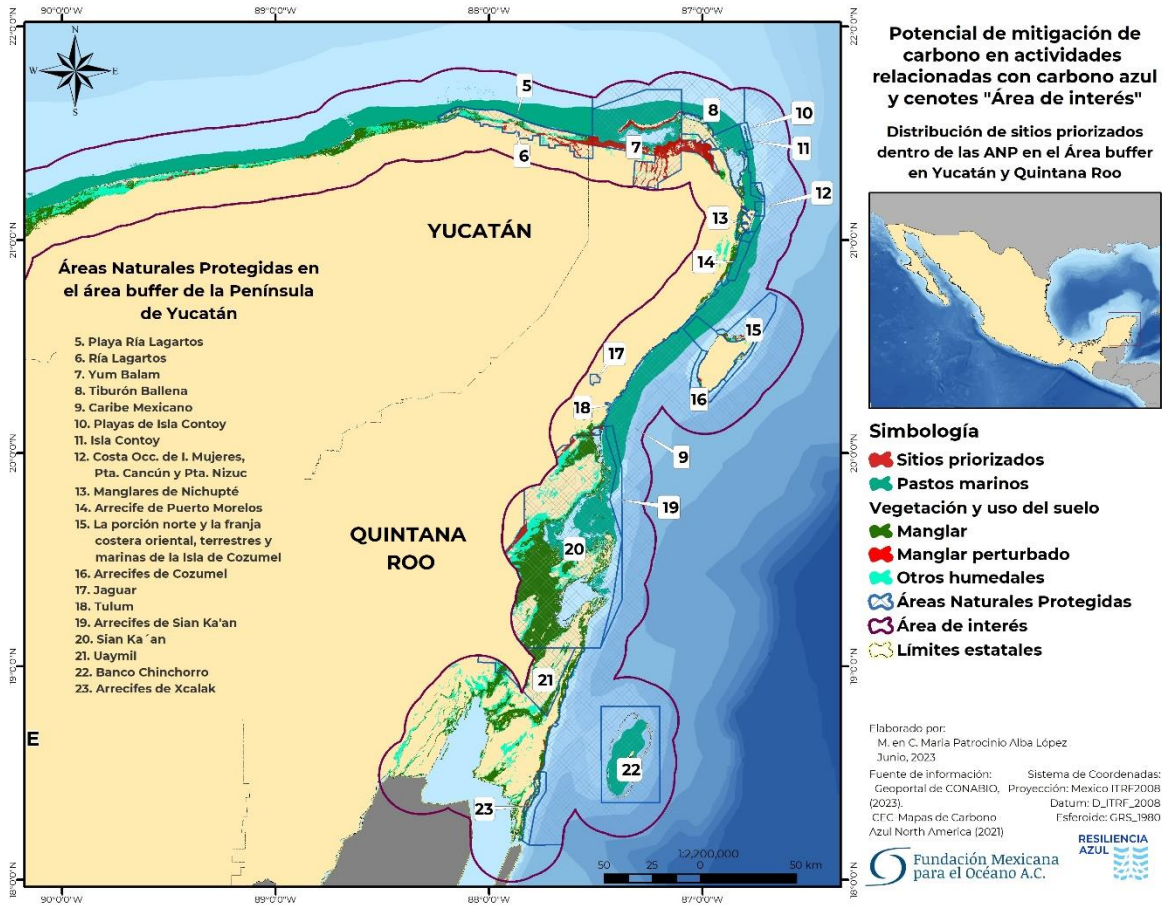
Con base a los análisis realizados con anterioridad, se llevó a cabo la priorización de sitios, para ello se sobrepusieron las coberturas de manglar con índice de conectividad “bajo” y “muy bajo”, manglar perturbado y otros humedales, ANP y ejidos, los cuales fueron identificados como sitios priorizados para fines de esta consultoría[3]. Esto, considera que son las áreas potenciales en la que se podrán generar insumos para fomentar mecanismos financieros para la conservación y restauración en manglares, pastos marinos y otros humedales.

Dentro de los ejidos priorizados con mayor superficie potencial para llevar a cabo acciones de mitigación dentro de este análisis fueron: Isla Mujeres (6,000.25 ha), Sabancuy (2,206.43 ha), Chiquilá (2,117.09 ha), Nunkiní (1.753.05 ha) y Kantunilkín (1,063.76 ha).

[3] La consultoría considera además de la estimación de mitigación asociada a la aforestación, revegetación y reforestación de ecosistemas de carbono azul, principalmente manglares; componentes necesarios para llevar a cabo un proceso de certificación de remociones de CO_2 asociados a iniciativas locales como parte de un proyecto agrupado (regional) para la Península de Yucatán.



Mapa 8. Distribución de sitios priorizados dentro de las ANP en el área buffer en Campeche y Yucatán.



Mapa 9. Distribución de los sitios priorizados dentro de las ANP en el área buffer en Yucatán y Quintana Roo.

A continuación, se reportan las superficies (ha) de las ANP con índice de conectividad "muy bajo" y "bajo" para manglares y para otros humedales.

Tabla 23. Superficie de sitios priorizados de acuerdo con la cobertura de manglar con índice de conectividad muy bajo y bajo, manglar perturbado y otros humedales dentro de las ANP del área buffer en la PY.

Estado	ANP	Nombre del Predio	Manglar (Índice de conectividad Muy bajo y Bajo)	Manglar perturbado	Otros humedales
			(Superficie en hectáreas)		
Campeche-Tabasco	Pantanos de Centla	Santa Isabel	14.01		3,540.92
Campeche	Laguna de Términos	Atasta	911.04		3,629.70
		Fernando Foglio M	7.12		275.14
		Isla Aguada	298.29		93.86
		Lagon Dulce	56.01		897.92
		Murallas de Campeche	26.09		765.96
		Nuevo Progreso	144.6	4.86	3,087.48

Estado	ANP	Nombre del Predio	Manglar (Índice de conectividad Muy bajo y Bajo)	Manglar perturbado	Otros humedales
			(Superficie en hectáreas)		
		Puerto Rico	2.34		45.2
		Ribera de la Corriente	0		575.2
		Sabancuy	2206.42	1.8	4,236.19
		San Antonio Cárdenas	830.47	1.32	1,771.23
		Santa Isabel	106.57		7,012.81
	Los Petenes	Blanca Flor	9.76		2.93
		Chunhuás	5.43		141.06
		Dzotzil	71.15		96.54
		Hampolol	0		55.15
		Hecelchakán	21.48		73.39
		Koben	17.49		213.02
		Nunkiní	1753.05	607.84	13,999.04
		Pomuch	5.46		
		Pucnachen	134.16	14.33	578.47
		Tankuche	1.48		42.75
		Xkuncheil	4.87		2,01
Campeche-Yucatán	Ría Celestún	Tankuche	202.91		146.66
		Halacho	6.83		37.82
Yucatán	Ría Lagartos	El Cuyo	48.01	1.02	616.27
		La Laguna	169.32		76.89
		N.C.P.A. El Nuevo Mundo	0		5.78
		N.C.P.A. San Salvador	136.39		28.3
		N.C.P.A. Tekal Nuevo	490.72		1,382.55
		Yohdzonot Carretero	41.45	2	317.81
		Chiquilá	418.45		425.49
Quintana Roo	Yum Balam	Chiquilá	1698.64	1.35	6,186.55
		Holbox	524		152.2
		Isla Holbox	263.42		71.43
		Isla Mujeres	2740.92		1,151.36
		Kantunilkín	1063.76		2,959.60
		Península Holbox	729.58		299

Estado	ANP	Nombre del Predio	Manglar (Índice de conectividad Muy bajo y Bajo)	Manglar perturbado	Otros humedales
			(Superficie en hectáreas)		
		Punta Holbox	5.33		23.87
	Caribe Mexicano	Isla Mujeres	3259.63		4,588.57
	Arrecifes de Sian Ka'an	N.C.P.E. José María Pino Suárez	99.08		
	Sian Ka´an	Chunyaxche y Anexos	39.22		877.6
		Felipe Carrillo Puerto	0		2,866.05
		N.C.P.E. José María Pino Suárez	252.71		8.72
		Tres Reyes	0		47.71
		X-Hazil y Anexos	13.13		155.41

Nota: IC = Índice de Conectividad

10.3 Mapeo de actores clave, incidencia y actividades en el territorio

A partir de la metodología “bola de nieve”, entrevistas con actores primarios de diversos sectores y basado en la experiencia y vinculación del equipo consultor, se generó un listado de 174 actores relevantes al desarrollo de una iniciativa de carbono azul (Mapeo actores carbono azul PY), los cuales se agruparon en nueve sectores:

Sector	No de actores
Gubernamental	58
OSC	44
Académico	44
ONG	19
Consultor	3
Estándares	3
Privados	2
Cooperación internacional	1

Se llevó a cabo un análisis de intereses e influencia aplicable a cada sector, los resultados se muestran a continuación (Tabla 24).

Tabla 24. Mapeo y descripción de actores clave del proyecto ACCIÓN.

Sector	Descripción	Interés en el proyecto	Influencia en el proyecto	Efectos posibles del proyecto en el actor	Influencia posible del actor en el proyecto
Comunidad	Representantes en curso del Comisariado Ejidal y consejo de vigilancia y suplentes	Poseedor legítimo de la tierra por decreto presidencial. En el caso de ejidos, estos ostentan la propiedad del carbono.	Decisión de participar en el período del proyecto, compromiso de llevar a cabo acciones.	Relación contractual a largo plazo, seguimiento a compromisos del proyecto. Fortalecimiento de capacidades para la restauración, manejo sustentable y conservación de ecosistemas de carbono azul. Obtención de incentivos monetarios y no monetarios derivados del proyecto.	Como propietarios de la tierra tiene el poder de decisión sobre las actividades que se llevan a cabo, es necesario contar con actas de asamblea para asegurar la continuidad del proyecto a lo largo del tiempo.
Academia	Centros de investigación, Universidades estatales y federales con representación en el área de interés, grupos académicos, comités de investigación y desarrollo	Estimación de línea base y caracterización de los manglares en los sitios. Investigación aplicada e implementación de acciones de restauración y conservación. Generación de conocimiento clave para los temas de carbono azul.	Acompañamiento técnico-científico, construcción y fortalecimiento de capacidades	Generación de datos a escala local, presupuesto para monitoreo permanente, difusión y divulgación de resultados, generación de conocimiento sobre los ecosistemas de carbono azul	Cuentan con la capacidad técnica y científica para generar la información base de caracterización de los manglares y bases de carbono. Además, cuentan con la capacidad para orientar acciones en la restauración de manglares
Gubernamental	Mandato de atender las actividades y proyectos relacionados con ecología y desarrollo sustentable a nivel federal y jurisdiccional	Brindar legitimidad y soporte institucional	Toma de decisiones y alineación con políticas públicas a nivel nacional y jurisdiccional	Generación de procesos alineados a la política pública y de insumos de aplicabilidad y replicación de resultados como herramientas para fortalecer la política y normativa a nivel nacional y jurisdiccional en el marco de los compromisos de cambio climático	Coadyuvar en la realización conjunta y coordinada de acciones de protección y restauración ambiental e instrumentar, regular y promover la utilización de técnicas y procedimientos de desarrollo sustentable, aliado a la

Sector	Descripción	Interés en el proyecto	Influencia en el proyecto	Efectos posibles del proyecto en el actor	Influencia posible del actor en el proyecto
					implementación de proyectos de carbono. Vigilar la implementación y evaluar resultados, se tienen que revisar los lineamientos generales establecidos en materia de recursos naturales, ecología, saneamiento, agua y regulación ambiental. Promover e instrumentar políticas públicas para fortalecer el mercado interno, la atracción de inversiones y la promoción del estado a nivel nacional e internacional. Aliado para la implementación de proyectos de carbono
OSC	Organizaciones de la Sociedad Civil nacionales e internacionales que centran sus esfuerzos en la rehabilitación, restauración, manejo sostenible y conservación de ecosistemas de carbono azul incluidos cenotes.	Sinergias y colaboraciones para promover la salud de los manglares, detener su deforestación y degradación y mejorar los medios de vida de las comunidades costeras incluyendo ANP	El proyecto puede establecer con estas OSC acuerdos que eviten la acción descoordinada o traslape en las áreas de trabajo	El proyecto puede establecer sinergias con estas OSC para sumar y potenciales impactos a nivel regional	El vínculo podría dar a conocer proyectos y esfuerzos de restauración que se estén trabajando en la zona. Así como sumar esfuerzos para consolidar trabajos de manera conjunta
Privado	Entidades privadas, corporativos y empresas comprometidas con el medio ambiente, con	Ser parte de acciones clave para mitigación de cambio climático y generación de cobeneficios	Inversión, financiamiento y cofinanciamiento como estrategia de compensación de huella de carbono y	Brinda elementos para la sensibilización y comprensión de los procesos urgentes de restauración,	Maximización de esfuerzos y mayor impacto en los resultados de los proyectos. Fortalecer las acciones e

Sector	Descripción	Interés en el proyecto	Influencia en el proyecto	Efectos posibles del proyecto en el actor	Influencia posible del actor en el proyecto
	interés en compensación e inversión de impacto ambiental, social y económico en esquemas de desarrollo sustentable.	asociados a proyectos de restauración, manejo sustentable y conservación de ecosistemas de carbono azul	responsabilidad social corporativa	manejo sustentable y conservación claves en la lucha contra el cambio climático	involucrar a más actores del sector privado. Da certeza y credibilidad ante este sector.
Estándares	Fundaciones y/o empresas certificadoras de créditos de carbono en el mercado voluntario.	Ampliar su portafolio de proyectos certificados en el mercado voluntario.	Son las entidades que registran y dar certeza ante compradores sobre la calidad y cumplimiento metodológico de las remociones y/o emisiones evitadas que se comercializan como resultado de las intervenciones en territorio	Ampliación de la experiencia y conocimiento sobre el comportamiento asociado a la captura y emisiones evitadas en ecosistemas de carbono azul. Fortalecimiento de capacidades basadas en lecciones aprendidas aplicables a cada caso de estudio (proyecto).	Son los responsables de validar y registrar las unidades verificadas de cada tonelada de dióxido de carbono capturada o evitada, así como la aplicación de salvaguardas y cumplimiento de la metodología. Son el portal de comercialización y certeza ante compradores y vigilan durante el período de acreditación la permanencia, no fugas y adicionalidad de las iniciativas de carbono azul en el mercado voluntario.
Cooperación técnica internacional	Transferencia de técnicas, tecnologías, conocimientos, habilidades o experiencias por parte de países y organizaciones multilaterales, para apoyar el desarrollo socioeconómico de los países en áreas específicas.	Interés global en catalizar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático y promover soluciones basadas en la naturaleza como parte de su misión y compromiso con países del cono sur	Apoyo técnico-tecnológico y fortalecimiento de capacidades para el desarrollo de las iniciativas	Generación de impactos con potencial de ser replicados como casos exitosos	Dar soporte institucional y credibilidad. Posiciona las incitativas y las fortalece desde lo técnico-administrativo. Potencial sinergia y colaboración desde la parte de fortalecimiento técnico-tecnológico.

Actividades económicas relacionadas con ecosistemas de carbono azul en PY

Las actividades de restauración, manejo sustentable y conservación de manglares, pastos marinos y otros humedales tienen como resultado el secuestro de CO_2 de la atmósfera, así como el almacenamiento de carbono como parte de la biomasa de estos ecosistemas. Estos procesos ecológicos pueden ser cuantificables empleando la unidad de medida de 1 tonelada de dióxido de carbono ($1tCO_{2e}$) a través de la cual se mide la mitigación de este gas de efecto invernadero.

El objetivo de incluir un análisis de factibilidad social, legal y económica a la medición de potencial de mitigación de emisiones de dióxido de carbono equivalente como resultado de las actividades del proyecto ACCIÓN, es brindar mayores insumos para la priorización de actividades y de sitios de intervención en el marco de un posible proceso de acreditación de certificados de carbono del sector AFOLU basados en el mercado voluntario o regulado.

Se realizó un mapeo de actores clave a fin de identificar las actividades en el territorio y potenciales sinergias de colaboración asociadas a las actividades de restauración, manejo sustentable y conservación de los ecosistemas de carbono azul. Para esto se elaboró un listado de municipios desglosada por variables de interés social, económico y de incidencia que puedan influir en la captura o emisión de CO_2 en los sitios seleccionados.

A continuación, se describen las variables de interés desglosadas por sector:

Tabla 25. las variables de interés desglosadas por sector.

Estado	ANP	Municipio	Nombre del Predio	Actividades económicas
Campeche-Tabasco	RB Pantanos de Centla	Palizada	Santa Isabel	• *Pesca deportiva, comercial y artesanal* • *Agricultura anual maíz, calabaza, frijol, camote y yuca* • *Agricultura perenne y semiperennes: cocoteros, cacao, plátano macho, cítricos, guanábana, mango, papaya, guayaba y pastizales* • *Ganadería bovina extensiva y de traspatio: aves y cerdos* • *Cacería comercial, de autoconsumo y para el control de plagas* • *Aprovechamiento forestal* • *Turismo* • *Actividad petrolera*
Campeche	APFF Laguna de Términos	Carmen	Atasta Fernando Foglio M Isla Aguada Murallas de Campeche Nuevo Progreso Puerto Rico Sabancuy	• *Pesca* • *Ganadería bovina* • *Cultivos de coco y arroz* • *Siembra de pastizales* • *Extracción forestal* • *Actividades industriales* • *Turismo* • *Comercio*

Estado	ANP	Municipio	Nombre del Predio	Actividades económicas
			San Antonio Cárdenas	
			Santa Rita	
		Palizada	Lagón Dulce	
			Ribera de la Corriente	
			Santa Isabel	
	RB Los Petenes	Calkiní	Chunhuás	• *Ganadería crianza de ganado vacuno y porcino y de traspatio aves y cerdos* • *Agricultura de maíz, frijol, sandia, cacahuate, calabaza, yuca, soya, pepino, rábanos, chile,* • *Cultivo perenne y semiperenne: chicozapote, mandarina, naranja dulce, limón persa, naranja agria, mango, aguacate, achiote y guanábana* • *Horticultura jitomate y chile habanero* • *Comercio* • *Apicultura* • *Explotación forestal* • *Pesca comercial y artesanal* • *Comercio y turismo* • *Extracción de leña, tala para producción de carbón* • *Caza deportiva* • *Turismo* • *Producción de artesanías con henequén, elaboración de huipiles, hamacas, huaraches, etc.* • *Extracción de piedra*
			Nunkiní	
			Pucnachén	
			Tankuché	
		Campeche	Hampolol	
			Kobén	
		Hecelchakán	Blanca Flor	
			Dzotzil	
			Hecelchakán	
			Pomuch	
		Tenabo	Xkuncheil	
Campeche	RB Ría Celestún	Calkiní	Tankuché	• *Pesca* • *Turismo*
Yucatán		Celestún	Celestún	• *Pesca comercial, artesanal y deportiva* • *Pesca ribereña* • *Prestación de servicios turísticos* • *Extracción de sal* • *Agricultura*
		Halachó	Halachó	
Yucatán	Santuario Playa Ría Lagartos	Tizimín	El Cuyo	• *Pesca* • *Turismo* • *Comercio*
Yucatán	RB Ría Lagartos	Lázaro Cárdenas	Chiquilá	• *Pesca comercial y deportiva* • *Agricultura maíz, frijol, calabaza y chile* • *Apicultura* • *Ganadería bovina y producción de traspatio porcina y de aves*
		Tizimín	El Cuyo	
			La Laguna	
			N.C.P.A. El Nuevo Mundo	

Estado	ANP	Municipio	Nombre del Predio	Actividades económicas
			N.C.P.A. San Salvador	• *Explotación de sal* • *Turismo* • *Actividades Comerciales*
			N.C.P.A. Tekal Nuevo	
			Yohdzonot Carretero	
Quintana Roo	APFF Yum Balam	Isla Mujeres	Isla Mujeres	• *Agricultura maíz, frijol, calabaza, camote* • *Cultivos perennes y semiperennes frutales cítricos, mamey, caimito, anona, ramones y cedro. Arbustivos: chayas, plátanos y palmas* • *Hortalizas: rábano, chile, cilantro, epazote, hierbas aromáticas y zacate limón* • *Ganadería bovina y ovina,* • *Actividades forestales* • *Pesca ribereña, comercial y deportiva* • *Acuacultura* • *Artesanía tradicional urdido de hamacas y el bordado de ropa tradicional y típica.* • *Turismo* • *Comercio* • *Desarrollo infraestructura hotelera*
		Lázaro Cárdenas	Chiquilá	
			Holbox	
			Isla Holbox	
			Kantunilkín	
			Península Holbox	
			Punta Holbox	
	RB Caribe Mexicano	Isla Mujeres	Isla Mujeres	• *Pesca comercial, artesanal y deportiva* • *Construcción de infraestructura hotelera y comercial* • *Actividades turísticas y ecoturísticas (turismo de aventura)* • *Prestación de servicios turísticos*
		Lázaro Cárdenas	Isla Holbox	
			Península Holbox	
	RB Arrecifes de Sian Ka'an	Tulum	Pino Suárez	• *Turismo de aventura y rural* • *Ecoturismo* • *Pesca artesanal y comercial*
	RB Sian Ka’an	Felipe Carrillo Puerto	Chunyaxché y Anexos	• *Turismo de aventura y rural* • *Ecoturismo* • *Pesca artesanal y comercial*
			Felipe Carrillo Puerto	
		Tulum	Pino Suárez	
	APFF Uaymil	Bacalar	El Cafetal	• *Turismo de aventura y rural* • *Ecoturismo* • *Pesca artesanal y comercial*

10.4 Análisis de la propiedad del carbono

Análisis de tenencia de la tierra de los ejidos potenciales

Se analizaron las características de tenencia de la tierra acorde a los requisitos del estándar Verified Carbon Standard (VCS) de VERRA[4], en la cual se solicita a los proponentes de proyectos y jurisdiccionales demostrar el derecho legal de controlar y operar las actividades del proyecto o programa.

Se realizó una búsqueda de datos en las bases de datos del Registro Agrario Nacional (RAN) a través de la herramienta en línea del Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA) a fin de identificar la propiedad del proyecto surgida u otorgada por ley, reglamento o decreto por una autoridad competente, que para México se basa en la Ley Agraria[5].

Características del uso del suelo ejidal

La superficie de tierras dotadas a los ejidos en México es manejada bajo un uso parcelado y terrenos ejidales o comunales. Las superficies de uso parcelado son aquellas tierras del ejido o comunidad agraria fraccionadas y distribuidas o asignadas individualmente entre sus integrantes para su explotación, sea ésta en forma individual, en grupo o colectivamente. Y los terrenos ejidales o comunales (uso común), son las tierras que constituyen el sustento económico de la vida en comunidad de los núcleos y por exclusión, siendo conformadas por aquellas tierras que no han sido reservadas por la asamblea para el asentamiento humano, ni destinadas y asignadas como parcelas.

A continuación, se presentan las superficies identificadas para los ejidos del área de interés por uso del suelo parcelado y común. Además del número de ejidatarias/os registrados en el Padrón del PHINA. Este dato es de particular importancia ya que los proyectos encaminados a restaurar y/o conservar áreas de manglar bajo mecanismos de mercados, deberán identificar la superficie en la que se tendrá incidencia ya que esto determinará el mecanismo de distribución de beneficios y gobernanza de la intervención.

Tabla 26. Superficies de tierras clasificadas en uso parcelado y uso común, número de ejidatarios y avecindados por Ejido en el área buffer de la PY. Fuente: PHINA, 2023.

Estado	ANP	Nombre del Predio	Grandes áreas (superficie en hectáreas)		Beneficiarios (total de personas)	
			Superficie parcelada	Superficie uso común	Población ejidataria	Población avecindada
Campeche-Tabasco	Pantanos de Centla	Santa Isabel	1,411.07	11,639.7	137	42
Campeche	Laguna de Términos	Atasta	2,808.31	17,073.60	292	6
		Fernando Foglio M	2,211.51	0	28	12
		Isla Aguada	240.30	208.44	62	524
		Lagon Dulce	515.14	400.2	58	0
		Murallas de Campeche	2,636.96	80.07	56	0
		Nuevo Progreso	2,752.82	3,281.21	438	731

[4] https://verra.org/project/vcs-program/rules-and-requirements/

[5] http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LEY_AGRARIA.pdf

Estado	ANP	Nombre del Predio	Grandes áreas (superficie en hectáreas)		Beneficiarios (total de personas)	
			Superficie parcelada	Superficie uso común	Población ejidataria	Población avecindada
		Puerto Rico	65.85	208.95	113	33
		Ribera de la Corriente	1,254.97	0	65	0
		Sabancuy	20.98	37,378.36	292	100
		San Antonio Cárdenas	4,266.32	8,032.36	454	194
		Santa Isabel	1,411.07	11,639.7	137	42
		Santa Rita	888.27	948.66	59	15
	Los Petenes	Blanca Flor	434.01	1,137.06	50	3
		Chunhuás	1.43	4.011.54	74	0
		Dzotzil	0	2,700.60	59	0
		Hampolol	5.75	2,043.29	209	1
		Hecelchakán	0	49,763.15	824	0
		Koben	1.38	2,595.43	66	109
		Nunkiní	0	0	0	0
		Pomuch	0	81,776.69	1036	1
		Pucnachen	12.33	5,319.68	264	0
		Tankuche	14.76	13,989.98	274	21
		Xkuncheil	452.21	201.1	27	38
Campeche-Yucatán	Ría Celestún	Tankuche	14.76	13,989.98	274	21
		Celestún	2,378.18	12,048.73	184	0
		Halacho	790.39	21,013.08	689	133
Yucatán	Playa Ría Lagartos	El Cuyo	3,734.65	1,190.73	93	7
	Ría Lagartos	El Cuyo	3,734.65	1,190.73	93	7
		La Laguna	9.64	557.69	21	0
		N.C.P.A. El Nuevo Mundo	3,356.74	2 388.48	100	0
		N.C.P.A. San Salvador	15.05	508.96	17	0
		N.C.P.A. Tekal Nuevo	4,040.20	2,936.11	53	0
		Yohdzonot Carretero	24.23	11,098.55	201	6
		Chiquilá	19,937.103	34,580.63	288	450
Quintana Roo	Yum Balam	Chiquilá	19,937.103	34,580.63	288	450
		Holbox	921.34	17.77	214	39
		Isla Holbox	392.66	47.38	21	0
		Isla Mujeres	3,674.39	25,337.62	231	495
		Kantunilkín	420	73,716.02	2,233	0
		Península Holbox	2,316.60	204.95	24	0
		Punta Holbox	0	0	0	0

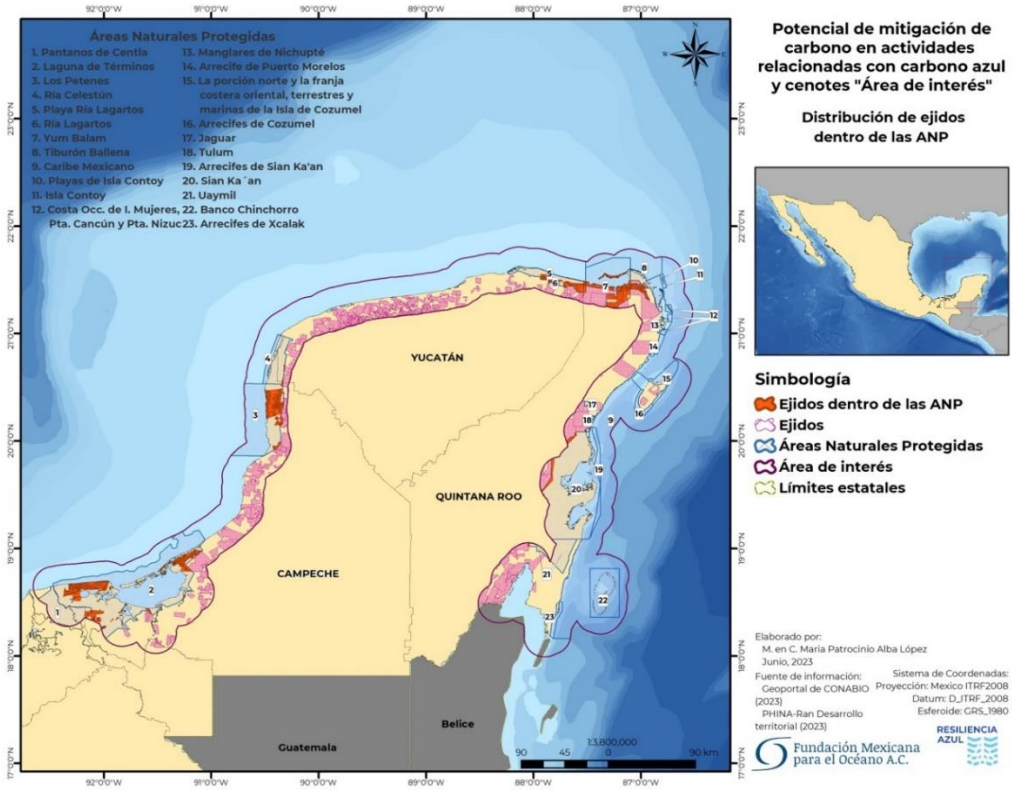
Estado	ANP	Nombre del Predio	Grandes áreas (superficie en hectáreas)		Beneficiarios (total de personas)	
			Superficie parcelada	Superficie uso común	Población ejidataria	Población avecindada
	Caribe Mexicano	Isla Holbox	392.66	47.38	21	0
		Isla Mujeres	3,674.39	25,337.62	231	495
		Península Holbox	2,316.60	204.95	24	0
	Arrecifes de Sian Ka'an	N.C.P.E. José María Pino Suárez	394.42	0	0	0
	Sian Ka´an	Chunyaxche y Anexos	0	98,108.05	682	0
		Felipe Carrillo Puerto	4.0	44,515.48	288	594
		N.C.P.E. José María Pino Suárez	394.42	0	0	0
		Tres Reyes	9,767.51	1,165.65	29	22
		X-Hazil y Anexos	0	54,441.74	439	43
	Uaymil	El Cafetal	0	21,605.78	272	0

10.5 Análisis de superficie de manglares por núcleo ejidal

A través de análisis de información geográfica (ArcGIS) se sobrepusieron los polígonos de los núcleos ejidales con la cobertura de vegetación de manglar de CONABIO, 2020. Este análisis permitió identificar el número de hectáreas de ecosistemas de manglar por ejido.

Es importante resaltar, que la cobertura de manglares presentada por CONABIO, debido a la escala con la que se realiza, requiere de la verificación en campo de la condición presente. Es decir que pueden existir áreas donde el uso de suelo es manglar, sin embargo, si estas áreas están desprovistas de vegetación arbórea, han sido excluidas.

*Cobertura de manglares por núcleo ejidal previo a la clasificación de la condición para determinar la superficie conservada y degradada, superficie en hectáreas.



Mapa 10.Distribución de ejidos en el área buffer de la Península de Yucatán.

11. Análisis de riesgos y amenazas de los ecosistemas manglar, pastos marinos y otros humedales asociados a un proyecto de mitigación de CO_2 en Península de Yucatán

Una de las problemáticas asociadas a la perturbación y la degradación de manglares, pastos marinos y otros humedales son las actividades antropogénicas que conducen la transformación con las actividades agrícolas-pecuarias y el desarrollo de infraestructuras como lo son las creaciones de los estanques artificiales, las zonas de construcción y las zonas turísticas. De acuerdo con Valderrama-Landeros (2017), en términos generales los factores y los procesos del deterioro de estos ecosistemas marino-costeros son los siguientes: deforestación, tala y fragmentación del paisaje, modificación del flujo del agua y apertura de barreras naturales, acuicultura, contaminación de cuerpos de agua, desarrollo turístico, pesca, agricultura y ganadería, urbanización costera, explotación petrolera y azolvamiento (sedimentación).

Otra amenaza importante para los ecosistemas de manglar es el cambio climático que actualmente toma un papel relevante (Hamilton y Casey 2016). El cambio climático afecta a los manglares, pastos marinos y otros humedales de diversas maneras, y una de las principales es el aumento del nivel del mar, además de otros eventos como la crecida extrema de las aguas, la mayor intensidad y frecuencia de tormentas, la menor o mayor cantidad de precipitaciones que alteran la salinidad, el incremento de la temperatura, la concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO_2), los patrones de circulación del océano, la salud de los ecosistemas vecinos ligados a nivel funcional, además del impacto que pueda tener la respuesta del hombre para enfrentar el aumento del nivel del mar y la erosión costera.

Por lo que se refiere a las presiones de reconversión de hábitats por imposiciones de tipo socioeconómico que ocasionan la fragmentación del ecosistema de manglar y otros humedales a continuación se muestran las principales razones relacionadas con dicha reconversión.

Figura 15. Razones por las que los ecosistemas de manglar y otros humedales reconvierten su hábitat. Tomado de SEMARNAT, 2023.

En relación con las amenazas al almacenamiento de carbono azul, es importante destacar que las áreas de manglar, pastos marinos y pantanos ya se han perdido en las últimas décadas debido a la intervención de diferentes actividades humanas como la recuperación, deforestación, la ingeniería y la urbanización, la transformación en estanques de acuicultura (Duarte *et al*., 2005b; Silliman *et al.,* 2009). Durante las últimas décadas, el hábitat de pastos marinos disminuyó debido a la eutrofización costera, la sedimentación y el desarrollo (Duarte *et al*., 2005b; Waycott *et al.,* 2009), mientras que los hábitats de manglares y pantanos han sido dañados por dragados, rellenos, drenajes, cascadas tróficas y también por la introducción o invasión accidental de especies invasoras (Valiela *et al.,* 2001; Alongi 2002; Silliman *et al.,* 2005; 2009). El aumento del nivel y la temperatura de la superficie del mar debido al cambio climático es otra amenaza para el ecosistema costero que puede erosionar e inundar manglares y pantanos aumentando la profundidad del agua y reduciendo la disponibilidad de luz para apoyar la fotosíntesis (Björk *et al.,* 2008; Woodroffe 1995; Silliman *et al*., 2009). La pérdida anual promedio mundial de pérdidas de ecosistemas de carbono azul reduce su capacidad de almacenamiento de carbono. Tiene graves implicaciones para las poblaciones humanas que dependen de estos ecosistemas para su alimentación, sustento y protección costera. Se deben abordar estrategias de conservación y gestión para proteger estos ecosistemas de carbono azul y controlar la dinámica del carbono en los sistemas costeros (Middleton y McKee, 2001; Kristensen *et al.,* 2008)

11.1 Matriz de análisis de riesgos y amenazas

Se identificaron las principales amenazas y riesgos asociados a la implementación de una iniciativa de carbono azul en ecosistemas de manglar[6] con base en instrumentos de mercado. Los insumos empleados provienen de hallazgos sistematizados en 2022, resultado de talleres participativos con representantes del Ejido Kantunilkín y Chiquilá en el municipio de Lázaro Cárdenas, Quintana Roo, de la comunidad de Isla Arenas en Campeche, Ejido Sisal y el Cuyo en Yucatán; así como con integrantes de la cooperativa de manglares en el Parque Nacional Arrecifes Xcalak como parte de las actividades en otros proyectos que implementa el Consorcio consultor. Se seleccionaron comunidades y ejidos con influencia en las Áreas Naturales Protegidas de los tres estados de Península de Yucatán. Los talleres fueron realizados durante 2022 y el primer semestre de 2023; la temática de amenazas y riesgos fueron abordadas desde una estrategia encaminada a la conservación, manejo sostenible y restauración de ecosistemas de manglar, por lo cual no se formularon expectativas respecto a proyectos bajo esquemas de mercado de carbono. La información de los actores comunitarios fue complementada con los hallazgos de entrevistas con actores claves del sector académico, privado y de especialistas en desarrollo de iniciativas de carbono azul basadas en instrumentos de mercado y la experiencia del equipo consultor de Resiliencia Azul (RA) y Fundación Mexicana para el Océano (FMO).

Los riesgos y las amenazas identificadas en el proceso de análisis permitieron al equipo consultor contar con insumos para alimentar la tabla de riesgos acorde con la metodología adaptada por RA de la herramienta para estimar riesgos de permanencia[7] del estándar VERRA.

[6] El análisis de riesgo y amenazas contempla una iniciativa basada en la mitigación por Aforestación, Revegetación y Reforestación, así como Emisiones Evitadas (REDD+) por conservación de almacenes de carbono en manglares. Dado que no se cuenta con experiencia de iniciativas de restauración y conservación para pastos marinos basadas en esquemas de mercado, este ecosistema y el de otros humedales no fue analizado en la matriz; sin embargo múltiples riesgos y amenazas son compartidos con los manglares.

[7] Verra's Non-Permanence Risk Analysis Guide (VERRA, 2021).

La severidad se estimó como resultado de la “probabilidad” de que un evento de riesgo ocurra del 1 al 5, donde 5 es “muy probable” mientras 1 es “muy poco probable”, y el impacto que dicho evento de riesgo podría provocar sobre una actividad en específico o sobre el proyecto en general. El impacto se mide del 1 al 5, donde 1 es “muy bajo impacto” y 5 es “muy alto impacto”.

Las estrategias de mitigación fueron desarrolladas con base en los hallazgos de los talleres, entrevistas con expertos y la experiencia del equipo consultor en fases de desarrollo, diseño, monitoreo y certificación de iniciativas de mercado basadas en la capacidad de mitigación de CO_2 de manglares, pastos marinos y humedales (carbono azul).

Se analizaron los factores de riesgo que representan las barreras más críticas para el desarrollo de una iniciativa o proyecto agrupado de restauración (ARR) o de emisiones evitadas (REDD+), previendo que el componente de financiamiento a través del mercado de carbono podrá ser considerado como una herramienta económica para el desarrollo de actividades en el marco del proyecto ACCIÓN.

Figura 16. Análisis de riesgos y amenazas de iniciativas de captura y emisiones evitadas en ecosistemas de carbono azul.

Tabla 27. Análisis de riesgos y amenazas asociadas a la captura de carbono y emisiones evitadas en ecosistemas de manglar en la Península de Yucatán.

EVENTO DE RIESGO / TEMÁTICA	NIVEL DE SEVERIDAD	ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN POTENCIAL
1. RIESGOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO Y ALCANCE DE METAS		
Capacidades y experiencia técnica de implementadores en campo y gabinete	Mediano	Que los equipos técnicos de implementación en campo y gabinete para la restauración, manejo sustentable y conservación de manglares estén capacitados con al menos 10 años de experiencia (demostrable) en el desarrollo de las actividades requeridas por la o las iniciativas.

		Crear cuadros técnicos comunitarios y brindar acompañamiento técnico, asegurando el fortalecimiento activo de capacidades en materia de restauración ecológica, monitoreo y evaluación.
Capacidad de coordinación de las actividades de carbono azul (iniciativas en territorio) en el mediano y largo plazo para asegurar la permanencia del carbono	Bajo	La coordinación general de las iniciativas de carbono azul / mercados, desarrolla un plan estratégico de largo y mediano plazo, así como planes operativos anuales y facilita a lo largo de su vida la efectiva aplicación del instrumento.
Alcanzar las metas de sobrevivencia del arbolado con base en los tipos de intervención (ARR) acorde con la proyección y estimaciones de mitigación	Mediano	Se genera un plan e indicadores de monitoreo apropiados; se supervisión las áreas intervenidas. Se cuenta con un reporte semestral / anual de la sobrevivencia de las plantas y de los parámetros de monitoreo de éxito en la mitigación y permanencia de CO_2 en las áreas intervenidas.
Capacidad de organización interna a nivel de instituciones municipales y locales	Mediano	El proponente del proyecto agrupado de Carbono Azul / Mercados desarrolla una estrategia de comunicación específica para funcionarios públicos, la cual se basa en promover la importancia de los servicios ecosistémicos que proveen los manglares a la sociedad. Se establece una agenda de participación para involucrar a los diferentes actores institucionales motivando su involucramiento y participación efectiva a lo largo de la vida del proyecto.
2. RIESGOS POLÍTICOS Y LEGALES		
Incertidumbre en la tenencia de la tierra en las áreas de intervención (propiedad del carbono)	Muy alto	El proponente del proyecto agrupado de Carbono Azul / Mercados genera y valida las actividades de restauración y sus potenciales beneficios climáticos (mitigación en tCO_{2e}) con las instituciones gubernamentales correspondientes mediante un acuerdo vinculante (ej. Concesiones o acuerdos de destino) con apego a la regulación y normativa mexicana aplicable[8].
Involucramiento y armonización de metas con las instituciones gubernamentales y los instrumentos de manejo de las áreas a intervenir (programas de manejo, manifiestos de impacto ambiental, unidades de manejo ambiental)	Mediano	Los manglares son especies protegidas por la NOM-059 en México, por lo tanto, toda actividad relacionada con su manejo requiere de permisos extendidos por la SEMARNAT. Para lo cual, además de contar con los permisos correspondientes, es necesario establecer acuerdos y llevar a cabo la socialización continua de las acciones relacionadas con la iniciativa de carbono azul / mercados con las autoridades competentes: SEMARNAT, CONANP, CONAFOR y PROFEPA en el ámbito ecológico – forestal y con el Registro Agrario Nacional para el caso de áreas con propiedad social de la tierra (ejidos). Para áreas ubicadas en polígonos de ANP, las

[8]CCA (2017), Análisis de las oportunidades para la integración del concepto de carbono azul en la política pública mexicana, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 102 pp. Disponible en: http://www.cec.org/files/documents/publications/11688-lisis-de-las-oportunidades-para-la-integraci-n-del-concepto-de-carbono-azul-en-es.pdf

		acciones de restauración, manejo sustentable y conservación se implementan alineados a los planes de manejo correspondientes.
Aplicabilidad para desarrollar un mecanismo de restauración, manejo sustentable y conservación de manglares basado en finanzas del carbono (MVC o regulado)	Alto	Se cuenta con la ruta crítica de intervención y alineación a la política nacional aplicable y se lleva a cabo una negociación exitosa que permite que el proyecto sea implementado en concordancia con los mecanismos financieros seleccionados (MVC, regulado o mixto). La distribución de beneficios climáticos (tCO_{2e}) en terrenos federales incluyendo la ZOFEMAT no tiene una ruta crítica establecida a nivel federal. A nivel jurisdiccional, los estados están en proceso de establecer la ruta de distribución de beneficios y alinearla con las metas nacionales de mitigación y adaptación al cambio climático. Derivado de los costos de restauración y seguimiento para el manejo sostenible de los manglares, se requiere de fondos complementarios para su implementación.
Formalización de compromisos, vinculación legal y administración de superficies en ZOFEMAT destinadas al servicio de la CONANP	Alto	Basados en mecanismos como los "acuerdos de destino"[9], el cual propone en su componente seis para la procuración de fondos: "Cuantificar la contribución a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la conservación y protección de las superficies de la ZFMT y playas marítimas puestas a disposición de la CONANP, para generar bonos de carbono que puedan ser comerciados en mercados obligatorios y voluntarios para generar recursos adicionales que sean invertidos en el manejo y administración de estas mismas superficies"; la iniciativa de carbono azul / mercados impulsa la negociación entre el proponente del gobierno y la contraparte nacional a fin de acordar y formalizar los compromisos y si fuera el caso, el destino de los beneficios climáticos generados por la restauración, manejo sustentable y conservación de manglares.
Disputas y conflictos de propiedad de la tierra y derechos de acceso	Alto	En donde existe disputa sobre la tenencia de la tierra, la propiedad o los derechos de acceso/uso, se proporciona evidencia documentada de que las iniciativas de carbono azul / mercados han implementado actividades para resolver las disputas o aclarar reclamos superpuestos.
3. RIESGOS ASOCIADOS A LA POLÍTICA PÚBLICA FEDERAL Y JURISDICCIONAL Y A LAS ESTRATEGIAS NACIONALES Y JURISDICCIONALES DE REDD+		
Incompatibilidad de las actividades propuestas en las iniciativas de carbono azul / mercados con las regulaciones de la Ley General de Desarrollo Forestal Sostenible y otras aplicables	Mediano	El proyecto se desarrolla bajo la aplicación del marco normativo mexicano aplicable y anida las actividades a sus regulaciones.

[9] Estrategia para la administración y manejo de superficies de Zona Federal Marítimo Terrestre y playas marítimas destinadas al servicio de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas disponible en: https://costasalvaje.org/wp-content/uploads/2019/02/Manual-Manuals_Estrategia-Acuerdos-de-Destino-CONANP.pdf

Discordancia entre la Estrategia Nacional y Jurisdiccionales de REDD+ y las actividades propuestas en las iniciativas de carbono azul / mercados	Mediano	Considerar actividades de Aforestación, Revegetación y Reforestación (ARR) en las iniciativas de restauración. Respecto a "emisiones evitadas" (REDD+) se recomienda la alineación con las disposiciones oficiales aplicables al marco de proyecto de Mercado Voluntario de Carbono y del mercado regulado, así como de otros esquemas de financiamiento aplicables a nivel subnacional y nacional.
4. RIESGOS AMBIENTALES Y DE BIODIVERSIDAD		
Perturbaciones a la salud del ecosistema manglar asociado a brotes de plagas y enfermedades	Bajo	Incluir como parte de las actividades de ARR el monitoreo de la restauración y un análisis de salud/sanidad forestal. Mantener un monitoreo con indicadores de población de herbívoros asociados al ecosistema manglar en las diferentes etapas de las actividades de ARR. Generar reportes semestrales de la salud del ecosistema.
Uso de especies exóticas para la restauración	Muy bajo	Las cuatro especies de mangle empleadas en las actividades de restauración (ARR) han estado presentes en la Península de Yucatán desde hace más de 3,000 años, según Aragón Moreno e Islebe (Aragón-Moreno, Islebe, and Torrescano-Valle 2012). Según el convenio de Diversidad Biológica (Essl y Alabaa, 2020) y el USDA (Departamento de Agricultura, n.d,) su longevidad en el área del proyecto los clasifica como especies nativas.
Arribo de especies invasivas y/o exóticas que afecten el crecimiento de las plántulas de manglar	Bajo	Se realizarán las prácticas de manejo de herbáceas y arbustos que puedan estar afectando el reclutamiento de los mangles en las áreas de restauración. La rehabilitación hidrológica contribuye a disminuir la competencia con otras especies que no son tolerantes a la inundación y salinidad.
Ingreso de lanchas y/o personas generan pisoteo o interrumpen los trabajos de restauración	Mediano	Las áreas intervenidas para ARR se delimitan y se señalizan adecuadamente. Se realizan campañas de sensibilización y divulgación de las acciones en el territorio, involucrando principalmente a comunidades locales.
5. RIESGOS SOCIALES		
Valoración desde diversos sectores de la sociedad sobre la importancia del manglar y sus servicios ambientales	Bajo	Se desarrolla una estrategia de comunicación y se llevan a cabo de manera permanente campañas, spots de radio, difusión de materiales visuales y talleres la importancia que tiene los servicios que brindan los manglares, los beneficios económicos, ambientales y sociales que pueden tener si realizan acciones que puedan ayudar a su conservación y restauración. Las comunidades locales y principales usuarios del ecosistema se sensibilizan y reconocen los servicios ambientales que brindan asociados a la protección contra huracanes, criadero de especies comerciales, refugio de biodiversidad, entre otros.
Afectación por incendios forestales en las áreas intervenidas y aledañas	Alto	Fortalecimiento de las acciones de manejo y monitoreo del fuego liderado por Protección Civil en cada estado, CONAFOR a través de sus promotorías estatales y los municipios. Se fortalecen capacidades de brigadistas comunitarios. Las

		comunidades involucradas directa e indirectamente en las iniciativas reconocen los incendios forestales como una amenaza en la conservación de manglares.
Gobernanza efectiva aplicada en la vida de las iniciativas de restauración, manejo sustentable y conservación de manglares	Bajo	Se desarrolla un mecanismo de distribución de beneficios económicos derivados de la implementación de las actividades ARR; se generan incentivos monetarios y no monetarios atractivos para las comunidades. Se recomienda que la administración de los fondos sea a través de un fideicomiso público-privado.
Inequidad en la distribución de beneficios económicos derivados de las iniciativas de carbono azul / mercados	Mediano	Las actividades de ARR, incluido el seguimiento durante la duración cada iniciativa, serán realizadas por integrantes de las comunidades. Para el caso de ejidos se considerarán a mujeres y hombres que conforman el padrón ejidal, así como a las y los avecindados interesados en participar. Los salarios que recibirán las personas de la localidad por estas actividades ayudarán a complementar sus ingresos y con ello tendrán una mejora en su bienestar económico.
Invasiones para vivienda y desarrollo inmobiliario en las áreas de intervención	Mediano	Por el momento no existen asentamientos humanos ni infraestructura previa dentro de los polígonos de las ANP. En los planes de manejo de las ANP está descrita la subzonificación de las mismas y se especifican las actividades que pueden desarrollarse. Al delimitarse áreas de restauración, la comunidad involucrada contribuye a la vigilancia y reporte de asentamientos ilegales. En el caso de terrenos nacionales, se fortalece la vigilancia desde el quehacer municipal.
Capital humano para llevar a cabo las actividades de restauración ecológica de manglares	Bajo	Se establece una propuesta salarial y de jornales para los grupos de trabajo en actividades de ARR justa y en medida de la disponibilidad de recursos financieros está por encima de la media estatal, incentivando así participación y continuidad de las personas (capital humano).
Corrupción a diferentes escalas del proyecto y de actores involucrados, tanto interna y externa como riesgo inminente	Mediano	ACCIÓN se desarrolla e implementa bajo un mecanismo de procedimientos, código de ética y cumplimiento de salvaguardas ambientales y sociales. Se mantiene un mecanismo activo, transparente y eficiente de quejas, así como un mecanismo de resolución a un posible acto asociado a la corrupción.
6. RIESGOS DE SALUD Y SEGURIDAD		
Inseguridad y presencia de criminalidad en la región limita el acceso a los sitios de trabajo	Mediano	Toda actividad de campo opera con previo aviso a las autoridades correspondientes con incidencia en los sitios de restauración. En caso de identificar alguna amenaza o incidente de seguridad se reporta directamente a las autoridades. ACCIÓN cuenta con un plan de mitigación de riesgos y seguridad, así como un manual de procedimientos de seguridad y bienestar del capital humano.
Restricciones de movilidad social derivado de pandemias y/o riesgos sanitarios a la población humana.	Mediano	Se cuenta con un plan de contingencia asociados a riesgos de salud pública, se toman las medidas que brinde la Secretaría de Salud nacional y estatal.

Accidentes laborales asociados a las actividades de restauración ecológica en los sitios intervenidos	Mediano	Se cuenta con un seguro de accidentes, el cual cubre de manera parmente incidentes ocurridos durante el desarrollo de las actividades y/o durante los traslados a los sitios de trabajo en el territorio.
7. RIESGOS REPUTACIONALES Y DE REPRESENTACIÓN		
Involucramiento de personas vinculadas a las iniciativas de restauración ecológica de manglares (carbono azul / mercados) en actos que pudieran afectar la reputación del proyecto ACCIÓN y/o a sus representantes	Bajo	Acordar y formalizar entre los involucrados en el proyecto ACCIÓN que se evitará la participación en actos públicos y/o privados considerados como inmorales, no éticos o ilícitos de acuerdo con la cultura y/o tradiciones, así como normas sociales aplicables y el código de ética.
8. RIESGOS NATURALES		
Afectaciones y pérdida del material vegetativo del proyecto debido a huracanes (eventos meteorológicos)	Mediano	Dentro del plan estratégico de restauración ecológica se realiza un diagnóstico y se determinan actividades de respuesta y mitigación en caso de que se presente un fenómeno de este tipo.
Afectaciones de las áreas intervenidas por ARR derivado de eventos de sequía / inundaciones e incremento del nivel medio del mar	Mediano	Dentro del plan estratégico de restauración ecológica y como parte del monitoreo bajo el enfoque adaptativo se incluyan actividades de respuesta y mitigación en caso de que se presente un fenómeno de este tipo.
9. RIESGOS FINANCIEROS		
Capacidad de gestión de financiamiento para cubrir los costos asociados a la restauración, monitoreo y evaluación en el largo plazo	Mediano	Para el desarrollo e implementación de iniciativas de carbono azul bajo esquemas de mercado, la entidad proponente deberá tener la capacidad de gestión financiera para asegurar que se cubran los costos asociados (laborales, materiales, investigación, monitoreo, mercadotecnia, capacitación, entre otras); así como los costos de certificación (en el caso de MVC). Se recomienda la complementariedad de fondos de diversas fuentes para garantizar la implementación y seguimiento ecológico y social de la restauración.

12. Análisis de aplicabilidad del estándar de certificación de carbono en manglares

Un estándar de carbono es un conjunto de procedimientos diseñados para garantizar la confiabilidad y calidad de un crédito de carbono que se origina a partir de la implementación de un proyecto de mitigación de GEI. Estos procedimientos incluyen especificaciones sobre la metodología a utilizar para la obtención de créditos reales, medibles y certificados y la evaluación de los impactos sociales y de biodiversidad que se derivan colateralmente de este proceso.

Debido al número de estándares existentes y a la carencia de un único registro, la calidad de los bonos difiere de un estándar a otro, según sean más o menos rigurosos con la comprobación de la adicionalidad y permanencia. Por lo que para asegurar la confianza de los compradores en la calidad de los bonos de carbono e incrementar la transparencia de un mercado que carece de un organismo regulador único (a diferencia del mercado de cumplimiento), los estándares se han vinculado a registros y/o bolsas de valores (Ecosystem Market, 2010).

Con el propósito de analizar qué estándar del Mercado Voluntario de Carbono (MVC) en particular se ajusta mejor a las condiciones ambientales, sociales y político-económicas predominantes en las zonas de ecosistemas de carbono azul para la península de Yucatán, se llevó a cabo una investigación sobre los principales enfoques y objetivos así como metodologías de tres estándares reconocidos (Verified Carbon Standard, Plan Vivo y Carbon Action Reserve) para realizar un análisis comparativo que permita emitir recomendaciones en torno a qué estándar dentro del Mercado Voluntario de Carbono (MVC) ofrece mayores beneficios y resulta más adecuado en el marco de preparación del proyecto ACCIÓN.

12.1 Descripción de estándares aplicables para proyectos de carbono azul

i. Verified Carbon Standard (VCS)

El Estándar de Carbono Verificado (VCS) es un estándar de calidad reconocido en la industria voluntaria de compensación de carbono. Se basa en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto y establece criterios para validar, medir y monitorear proyectos de compensación de carbono.

Es importante destacar que el alcance del Programa VCS abarca una amplia gama de actividades relacionadas con la generación de reducciones y remociones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), incluidos programas jurisdiccionales y proyectos de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) anidados. Sin embargo, el VCS no se ocupa de evaluaciones de huella de carbono o declaraciones de neutralidad de carbono.

VCS fue el primer estándar en presentar una metodología específica de proyectos basados en restauración de humedales. El programa Norma de Verificación de Carbono (Verified Carbon Standard, VCS) —principal programa mundial de declaración voluntaria y compensación de emisiones de gases de efecto invernadero— sigue siendo el más usado de todos, con 49 por ciento del mercado (Marketplace, 2016).

En 2015 se publicó por primera vez una metodología y un manual para el uso de los estándares VCS en relación con la restauración de humedales y pastos marinos (RAE, 2015). Elaborado por Restore America's Estuaries (RAE) y Silvestrum, el manual es aplicable a proyectos localizados en cualquier punto del mundo y a todos los sistemas de humedales, incluidos bosques inundables (manglares), marismas y pastos marinos. La metodología corresponde al enfoque sectorial 14 del programa VCS, que se refiere a proyectos de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés), y, dentro de éstos, a la categoría de forestación, reforestación y revegetación (ARR) de manglares. Esta metodología incluye no sólo el carbono contenido en material vegetal superficial sino también el contenido en el suelo y turba, lo que le confiere mayor rentabilidad en comparación con el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) por unidad de área.

Uno de los ejemplos destacados es la iniciativa Danone Fund for Nature, que ha apoyado proyectos piloto de restauración de manglares degradados desde 2008 mediante financiamiento de carbono basado en comunidades. Esta iniciativa ha sido tan exitosa que condujo a la creación del Livelihoods Carbon Fund, un fondo de inversiones privado que incluye a otras nueve empresas internacionales y respalda proyectos de restauración de manglares, agroforestería y energía rural en la Reserva de la Biosfera Sundarbans en India y Bangladesh. Además de lograr sus objetivos financieros, el proyecto también proporciona beneficios ecológicos adicionales, como hábitats para mariscos, y beneficios económicos y sociales para las comunidades locales

VERRA está actualmente actualizando los procedimientos de línea de base, fugas, monitoreo e incertidumbre para las actividades de deforestación no planificada y hasta que se publiquen las respectivas actualizaciones, los cambios metodológicos son inciertos. Una de las desventajas de la metodología utilizada para estimar el potencial de reducción de emisiones por degradación y deforestación (REDD) es que dicha metodología considera la tasa de deforestación para realizar los cálculos, y muchas veces, el escenario es un aumento en la extensión de manglar en un periodo de 10 años, sin embargo, podemos tener un escenario en el que existe una degradación del manglar, por ejemplo incremento de plantas de humedales de agua dulce que limitan el flujo hídrico tapando los canales y disminuyendo la función ecológica del manglar, además de intervenir en actividades productivas de las comunidades.

En general, el VCS ha demostrado ser un estándar efectivo y confiable para financiar proyectos relacionados con el carbono azul, como la restauración de manglares, y ha impulsado el éxito de iniciativas que buscan la mitigación del cambio climático y la conservación de los ecosistemas costeros.

ii. Plan Vivo

La Fundación Plan Vivo es una organización internacional con sede en Edimburgo que ha desarrollado un enfoque innovador para permitir la participación de pequeños agricultores y comunidades locales en proyectos de captura de carbono. Su enfoque se basa en certificar proyectos que demuestren medios de vida sostenibles, lo que permite realizar pagos basados en resultados a los participantes a través de Proyectos Plan Vivo Certificados. Estos proyectos representan las toneladas de CO_2e secuestradas o evitadas, junto con una gama de cobeneficios no relacionados con el carbono, como la adaptación al cambio climático, la protección de la biodiversidad y el suministro de agua.

Los proyectos de Plan Vivo siguen un enfoque de "todo el paisaje", lo que significa que están compuestos por múltiples participantes e intervenciones, adaptándose a las necesidades y prioridades de las comunidades involucradas. Estos proyectos pueden abarcar una sola área o varias áreas separadas en un paisaje, y pueden expandirse a lo largo del tiempo a medida que se implementan nuevas intervenciones y se obtienen resultados positivos.

Además del carbono almacenado en los suelos y la biomasa aérea, el estándar de Plan Vivo también considera esquemas de deforestación evitada (REDD+) en su enfoque. Esto significa que los proyectos certificados por Plan Vivo no solo se centran en la mitigación del cambio climático, sino que también abordan la conservación de los bosques y la protección de los ecosistemas forestales.

Scolel'te ("el árbol que crece" en el idioma maya tzeltal) es el proyecto más antiguo de Plan Vivo, remontándose a un programa piloto en 1994. Fue oficialmente operativo tres años después.
Desde 2002 ha estado funcionando de manera comercialmente autosuficiente bajo el liderazgo de AMBIO, una cooperativa ambiental mexicana sin ánimo de lucro que coordina el proyecto y organiza actividades de campo en colaboración con diversos grupos comunitarios, agricultores pequeños y organizaciones sociales.

En marzo de 2011, Scolel'te fue reconocido por los Premios Iniciativa México. Scolel'te fue seleccionado como finalista nacional entre cientos de iniciativas locales y destacado en la televisión nacional como una destacada iniciativa ambiental local. En 2013, AMBIO también recibió el Premio Nacional al Mérito Forestal de México.

Otros dos ejemplos destacados de proyectos certificados por Plan Vivo son el proyecto de carbono azul "Mikoko Pamoja[10]" implementado en Gazi Bay, Kenia y del proyecto "Blue Forests Madagascar" en Ambanja Bay y Ambaro Bays, Madagascar.

En resumen, Plan Vivo es un estándar de certificación que se enfoca en la participación comunitaria, la sostenibilidad de los medios de vida y la generación de cobeneficios, además de la captura de carbono. Sus proyectos siguen un enfoque integral y han sido implementados con éxito en diversas regiones del mundo, incluidos proyectos de carbono azul en Kenia y Madagascar. Sin embargo, a pesar de que se encuentra en procesos elaboración de una metodología específica para carbono azul, por el momento no está disponible.

[10] El proyecto Mikoko Pamoja en Gazi Bay, Kenia (http://www.mikokopamoja.com/home), tras 3 años ha conseguido vender 3,000 t CO_2e en forma de créditos con el estándar Plan Vivo en proyectos comunitarios. En total se han generado USD$12,000 anuales para conservar y repoblar 1.117 ha de manglar con 4.000 plántulas al año, e involucrado a más de 6.000 personas de comunidades adyacentes. Los beneficios han sido utilizados para crear oportunidades de negocios a pequeña escala en dos comunidades. El primer pago a la comunidad se hizo *ex ante* para asegurar el compromiso de permanencia con la misma (Herr, D; Trines, E; Howard 2014). Tomado de: Bejarano, M., López, E., y Rosette, M. Análisis de la Situación Política y Económica del Carbono Azul en México. PNUD CSP-2016-057. Programa Mexicano del Carbono, Pronatura Sur, FMCN, CEMDA, CINVESTAV-IPN.

iii. Carbon Action Reserve (CAR)

Climate Action Reserve (CAR) es un sistema de registro estándar dirigido conjuntamente con la Junta de Refuentes de Aire de California. Las metodologías de carbono de Climate Action Reserve no son aceptadas bajo el programa del mecanismo de desarrollo limpio. El estándar CAR trabaja bajo un protocolo para bosques, y por tanto no contempla secuestro de carbono, sólo cuantifican el carbono en el suelo. En México, CAR certificó el proyecto de carbono azul "San Crisanto", el cual presenta dificultades con los siguientes puntos: (1) entender cómo demostrar la adicionalidad de un ecosistema protegido por la Ley General de Vida Silvestre (LGVS), sin un programa de manejo forestal; (2) tienen un error de muestreo demasiado alto; (3) el costo de monitoreo de manglares es alto. Aunado a lo antes descrito, CAR presenta limitantes para la adecuación de su protocolo a manglar, ya que no implementa proyectos en tierras federales bajo ningún concepto y solo consideran la biomasa aérea, dejando el carbono secuestrado en el suelo fuera, el cual presenta el mayor porcentaje de almacén.

No obstante, CAR está preparando la publicación de una actualización de su protocolo donde están considerando incluir ciertas adecuaciones para ecosistemas de manglar. Dicha actualización aún no ha sido publicada.

Aplicabilidad de los estándares respecto a los requerimientos del mercado voluntario de carbono

El MVC exige que los proyectos certificados puedan demostrar en el largo plazo los componentes de adicionalidad, permanencia – analizada desde la verificación y monitoreo-, la línea base del proyecto, a fin de validar y registrar el proyecto propuesto. En la siguiente tabla se muestran los requerimientos y procedimientos que establece cada estándar en revisión:

Tabla 28. Comparativo de requerimientos básicos en el mercado voluntario de carbono.

Estándar o certificación	Adicionalidad	Línea base	Doble contabilidad	Verificación y monitoreo	Validación y registro
VCS	Cuenta con tres metodologías distintas: 1) Características del proyecto, similar a las metodologías empleadas en el MDL; 2) basada en el desempeño del proyecto y 3) según las características tecnológicas empleadas.	Metodologías propuestas por el MDL y las provenientes del Registro de la Acción Climática de California (California Action Registry) están bajo consideración.	El sistema de registro otorga un número de serie para cada proyecto y los almacena en una base de datos. Para minimizar los riesgos de una doble contabilidad, los proyectos deben presentar una carta de confirmación que señale el estado actual de las Unidades de Carbono Verificadas (VCU), tanto de su registro como transacción o retiro.	Se requiere que se utilice el protocolo de monitoreo de reducción de emisiones más recientemente aprobado por la Junta Ejecutiva de la convención de Cambio Climático de acuerdo al tipo de proyecto.	El proceso de registro consta de seis pasos: 1) Se presenta la descripción del proyecto, plan y reporte de monitoreo; 2) el proponente del proyecto presenta el documento de diseño del proyecto VCS,3) revisión de la información por parte del operador; 4) verificación de que los créditos no se hayan registrado en otro programa por parte de la asociación del VCS; 5) se depositan los documentos de validación originales

					en un sitio electrónico seguro y 6) emisión de las VCU en la cuenta del proponente del proyecto.
Gold Standard (GS)	Utiliza herramientas de adicionalidad aprobadas por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (en inglés UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change) o propias del GS.	Deben utilizar las metodologías aprobadas de modo que las emisiones de línea de base resulten las más bajas. Las metodologías deben ser aprobadas por la UNFCCC o el GS.	Los proponentes de proyectos deben proporcionar una clara demostración de que no hay doble contabilidad.	El informe de monitoreo debe contener: 1) Los resultados de la certificación de la compensación de emisiones; 2) presentación de la contribución al desarrollo sostenible en los informes de monitoreo; 3) el programa del monitoreo del PDD con los parámetros que requieren ser monitoreados; 4) los indicadores de línea de base.	Las reducciones son emitidas directamente por el Gold Standar después de su verificación. Los ciclos para obtener la certificación pueden ser regulares o retroactivos.
Plan Vivo	La adicionalidad es demostrada de la misma forma que en el MDL. Se hace un análisis de barreras en la ejecución de las actividades en ausencia del proyecto, tales como la falta de financiamiento, conocimientos técnicos, capacidad institucional o políticas prohibitivas y/o entornos culturales.	El potencial de secuestro de carbono, para la venta ex-ante de los créditos, se calcula sobre una base por hectárea durante un determinado período de tiempo, utilizando la información sobre el régimen de gestión, las condiciones de cultivo, especies propuestas, las tasas de crecimiento y la densidad de plantación del proyecto.	Se prevé la doble contabilidad, ya que la venta de certificados pasa directamente por la Fundación Plan Vivo, encargada de supervisar anualmente la venta de los bonos, en conjunto con las comunidades rurales y los desarrolladores. Cada certificado tiene un código de serie, el cual se almacena en un registro central.	Se dispone de procedimientos para ayudar en la preparación de proyectos y para la elección de un verificador.	Realiza un estudio teórico sobre la viabilidad del proyecto a largo plazo. Se incluye una descripción del área del proyecto, actividades y objetivos de desarrollo sustentable en consulta con las comunidades.
CAR	Los organismos verificadores confirman adicionalidad con base en la prueba de requisitos legales y de desempeño.	Se comprueba que el Dueño Forestal ha desarrollado una caracterización de la línea base para los acervos de carbono en el sitio, según el protocolo forestal en su versión más actualizada de acuerdo con: 1. Por lo menos 10% de los puntos de muestreo seleccionados	El uso de los créditos de compensación en México aplica para mercado voluntario como en cualquier otro mercado de cumplimiento futuro.	Los organismos verificadores necesitan confirmar la elegibilidad del proyecto de acuerdo con las reglas de la sección 3 del Protocolo forestal para México en su versión más actualizada.	Los organismos verificadores requieren revisar los estimados de acervos de carbono del Proyecto Forestal, los efectos primarios y secundarios, y la calificación de riesgo por reversiones como se describe en el PFM.

		aleatoriamente en un sistema de información geográfica. 2.Determinación del área de referencia alrededor de los puntos seleccionados. 3. Selección de uso de suelo y vegetación.			

12.2 Matriz comparativa de aplicabilidad de los estándares

Con la finalidad de poder emitir recomendaciones en torno a qué estándar dentro del MVC ofrece mayores beneficios y/o resulta más adecuado a las características ambientales, sociales y política-económicas prevalecientes en las áreas, se realizó un comparativo de estándares, el cual considera el potencial de cada estándar del 1 al 5 con base en indicadores requeridos para que proyectos de captura de carbono azul participen en el mercado voluntario global, donde el 5 es muy recomendable y 1 no recomendable. Los valores fueron asignados como resultado del análisis de gabinete y la información recabada mediante entrevista realizada para cada estándar, así como de entrevistas directas con los representantes de los diversos estándares y/o coordinadores de proyectos de carbono azul en México.

Tabla 29. Matriz comparativa de estándares de certificación y registro de créditos de carbono en MVC.

Indicador de implementación	VCS	Plan Vivo	CAR
Restauración/Reforestación	5	5	4
REDD+	4	4	1
Metodología desarrollada para manglares,	5	3	4
Metodología desarrollada para pastos marinos	5	3	1
Metodología desarrollada para otros humedales	5	3	1
Adicionalidad	5	5	5
Contabilidad de carbono orgánico en suelo	5	3	3
Permanencia	5	5	5
Fugas o desplazamientos	5	5	5
Cobeneficios ambientales y sociales	4	5	4
Registro	5	5	5
Transparencia	5	5	5
Reconocido por el ICROA[11]	5	5	5
Representación en mercados de carbono internacionales/nacionales	5	4	3
Herramientas para análisis de riesgos	5	4	4
Herramientas para estratificación	5	4	4
Indicador de mercado voluntario	5	4	4
Reconocimiento en el mercado voluntario de carbono	5	4	4
Reconocimiento por el gobierno mexicano*	5	5	5
Precios de mercado competitivo	4	4	3
Escala de rentabilidad	4	4	3
TOTAL	**101**	**89**	**78**

Los valores van del 1 al 5 donde: 1 = No recomendable o No Aplica, 2 = Poco recomendable, 3 = Medianamente recomendable, 4= Recomendable, 5= Muy recomendable.
“Firma de Memorándum de Entendimiento con Estandarizadoras Internacionales"

iv. Descripción de los criterios considerados en la revisión de los estándares del MVC

Restauración/Reforestación: verifica si el estándar acepta proyectos de reforestación y restauración.
REDD+: verifica si el estándar acepta proyectos de emisiones evitadas (REDD+).
Ubicación/Manglares: analiza cualquier limitación en la ubicación de los proyectos.
Adicionalidad: analiza cómo los proyectos deben demostrar adicionalidad.

Registro: inspección de los mecanismos para reducir la posibilidad de doble contabilidad; además, una indicación de dónde deben registrarse los créditos de carbono.
Transparencia: evaluación de cuán transparente es un estándar al observar la cantidad de información que un proyecto debe proporcionar públicamente y si hay alguna consulta pública como parte del proceso.

[11] *International Carbon Reduction & Offset Alliance* (ICROA), es una organización no gubernamental conformada por los principales proveedores de bonos de carbono y por empresas dedicadas a la compensación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) alrededor del mundo.

Metodología: analiza cómo los estándares usan metodologías para aprobar los proyectos. Las metodologías más detalladas reciben los puntajes más altos.
Permanencia: análisis de cómo se maneja la permanencia en los diferentes estándares. Mayor flexibilidad en cómo demostrar permanencia recibe mayor puntaje.
Fugas o desplazamientos: examina cómo se trata la fuga o pérdidas de CO2 que es cuando se emite CO2 que estaba almacenado por el proyecto.
Cobeneficios: evaluación de los beneficios comunes y cómo se incluyen en el estándar.

ICROA: verifica si el estándar es aceptado o no por la Alianza Internacional de Reducción de Carbono O (ICROA). Se considera que un estándar que no es aceptado por ICROA produce créditos que una gran parte del mercado no aceptará.
Precios de mercado competitivo: analiza la oferta de precios por tonelada registrados.
Representación en mercados de carbono internacionales: analiza la probabilidad de que el estándar sea ampliamente aceptado en el mercado internacional y nacional.

12.3 Selección del estándar

Verified Carbon Standard (VCS), Plan Vivo y Carbon Action Reserve (CAR) son tres estándares de certificación reconocidos en el ámbito del Mercado Voluntario de Carbono (MVC) que persiguen objetivos similares, pero con enfoques ligeramente diferentes.

El Verified Carbon Standard (VCS) se centra en la verificación rigurosa de los proyectos de reducción de emisiones y en su contribución efectiva para mitigar el cambio climático. Su enfoque se basa en la cuantificación precisa de las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), utilizando metodologías estandarizadas y robustas. El VCS busca garantizar la integridad ambiental y la transparencia de los proyectos, asegurando que las reducciones de emisiones sean reales, medibles, adicionales, verificables y permanentes.

Por otro lado, Plan Vivo se enfoca en proyectos comunitarios de desarrollo sostenible que buscan mejorar las condiciones de vida de las comunidades locales y conservar la biodiversidad. Este estándar se basa en la idea de que las comunidades rurales pueden generar créditos de carbono a través de prácticas sostenibles, como la reforestación, la conservación de bosques y la gestión sostenible de los recursos naturales. Plan Vivo pone un fuerte énfasis en la participación de las comunidades locales, la equidad y la distribución justa de beneficios, promoviendo un enfoque holístico que abarca no solo la mitigación del cambio climático, sino también el desarrollo sostenible y la conservación de la naturaleza.

Por último, el Carbon Action Reserve (CAR) se centra en proyectos de carbono forestal y agrícola que buscan reducir las emisiones y aumentar la absorción de carbono a través de prácticas como la reforestación, la gestión forestal sostenible y la agricultura regenerativa. Este estándar también se enfoca en la generación de beneficios adicionales, como la mejora de la calidad del agua y del suelo, la protección de la biodiversidad y la creación de empleo local. CAR se destaca por su enfoque flexible que permite una variedad de proyectos de carbono, adaptándose a las condiciones específicas de cada región.

En resumen, mientras que el VCS se centra en la cuantificación y verificación rigurosa de las reducciones de emisiones, Plan Vivo prioriza la participación comunitaria y el desarrollo sostenible, y CAR se enfoca en proyectos forestales y agrícolas que generan múltiples beneficios adicionales.

Cada estándar tiene su propio enfoque para abordar los desafíos del cambio climático y promover soluciones sostenibles en el MVC.

Debido a lo anterior y a la matriz de comparación presentada se optó por utilizar el estándar de VERRA bajo la metodología de Verified Carbon Standard (VCS) basado en su enfoque riguroso de verificación y cuantificación. El VCS se ha destacado como un estándar confiable que garantiza la integridad ambiental y la transparencia de los proyectos. En el caso de los ecosistemas de carbono azul, como los manglares en la Península de Yucatán, el VCS proporciona un marco sólido para medir y certificar la capacidad de estos ecosistemas para absorber y almacenar grandes cantidades de carbono. Además, el VCS ofrece una base confiable para la generación de créditos de carbono, lo que permite a los proyectos de conservación de manglares en la región obtener beneficios económicos y promover la protección de estos valiosos ecosistemas costeros. En resumen, la elección del VCS para los ecosistemas de carbono azul en la Península de Yucatán se fundamenta en su robustez, confiabilidad y capacidad para respaldar la mitigación del cambio climático y la conservación de estos ecosistemas cruciales. Además de que los estándares Plan Vivo y CAR se encuentran actualmente revisando y actualizando la metodología de estimación de beneficios climáticos para manglares y pastos marinos.

Es importante recalcar que actualmente no existe anuencia del gobierno federal ni una jurisdicción bien definida en México para realizar proyectos de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación forestal. Es indispensable contar urgentemente con una estrategia nacional, con políticas para agilizar y priorizar la conservación de esos ecosistemas.

v. Metodología aplicada en la estimación de mitigación de carbono en manglares

Las estimaciones se realizaron considerando actividades que aumentan la captura (secuestro) de carbono y/o reducción de emisiones de GEI mediante el establecimiento, aumento o restauración de la cubierta vegetal (forestal o no forestal) a través de la plantación, siembra o regeneración natural asistida de la vegetación leñosa (ARR).

Para la estimación de beneficios climáticos, se seleccionó la metodología del estándar VCS denominada: VM0007- Marco Metodológico REDD^{+}[12] (REDD+ MF), versión 1.6. Corresponde al área sectorial "AFOLU" Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra por sus siglas en inglés. Dicha área sectorial es la estructura y guía básica del estándar de VCS que permite definir las categorías y los tipos de actividad que están incluidos en AFOLU y permite identificar la combinación de estas.

Tabla 30. Categorías elegibles de los proyectos de uso de suelo forestal.

Categoría:	
Aforestación Reforestación y Revegetación (ARR) por sus siglas en inglés	Actividades que aumentan el secuestro de carbono y/o reducen las emisiones de GEI estableciendo, aumentando o restaurando la cubierta vegetal (forestal o no forestal) mediante la plantación, siembra o regeneración natural asistida por el hombre de vegetación leñosa
Manejo de tierras agrícolas (ALM) por sus siglas en inglés	Actividades que reducen las emisiones netas de GEI en tierras de cultivo y pastizales aumentando los almacenes

[12] Reducción de emisiones causadas por degradación y deforestación forestal.

	de carbono en suelos y biomasa leñosa y/o reduciendo las emisiones de CO_2, N_2O y/o CH_4 de los suelos
Manejo forestal mejorado (IFM) por sus siglas en inglés	Actividades que aumentan el secuestro de carbono y/o reducen las emisiones de GEI en tierras forestales gestionadas para la obtención de productos maderables mediante la mejora de las prácticas de manejo forestal.
Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD) por sus siglas en inglés	Actividades que reducen las emisiones netas de GEI mediante la reducción de la deforestación y/o la degradación de los bosques. La deforestación es la conversión directa, inducida por el hombre, de tierras forestales en tierras no forestales. La degradación es la reducción persistente de la cubierta de copas y/o de las reservas de carbono en un bosque debido a actividades humanas como el pastoreo, la extracción de leña, la extracción de madera u otras actividades similares, pero que no da lugar a la conversión de bosques en tierras no forestales (lo que se clasificaría como deforestación).
Evitar la transformación de praderas y matorrales/ Avoided Conversion of Grasslands and Shrublands (ACoGS) por sus siglas en inglés	Actividades que reducen las emisiones netas de GEI reduciendo la conversión de pastizales y matorrales a otros usos del suelo con menor almacén de carbono.
Restauración y Conservación de humedales (WRC) por sus siglas en inglés	Las actividades que aumentan la eliminación de GEI mediante la restauración y manejo de humedales o que reducen las emisiones de GEI evitando la degradación Las actividades de WRC pueden combinarse con otras categorías AFOLU como: • Restauración de humedales (RWE): actividades que reduzcan la emisión de GEI o remoción de carbono en humedales degradados por medio de actividades de restauración como: mejorar, crear y/o manejar las condiciones hidrológicas, el aporte de sedimentos salinidad, la calidad del agua y/o el establecimiento de plantas nativas, que tiene como resultado el restablecimiento de los procesos ecológicos. • Conservación de humedales intactos (CIW): actividades que reduzcan las emisiones de GEI por evitar degradación o conversión de humedales conservados o parcialmente conservados por: Degradación planeada (APWD) por sus siglas en inglés o Degradación no planeada (AUWD) por sus siglas en inglés.

Es necesario identificar qué tipos de actividades son viables de acuerdo con las condiciones y necesidades que presenta el sitio, lo cual dependerá de las causas y estado de degradación, propiedad de la tierra y leyes jurisdiccionales que permitan realizar dichas actividades.

Dentro de la metodología seleccionada es posible combinar las categorías REDD y WRC y para determinar esta combinación la metodología proporciona una guía, esta se presenta en la Tabla 31:

Tabla 31. Metodologías combinables de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD) y Restauración y Conservación de Humedales (WRC)

Escenario base		Actividad del proyecto	Categoría o combinación de estas
Condición previa	Cobertura del suelo		
Humedal degradado	Sin cubierta forestal	Restauración de humedales o revegetación	RWE + ARR
		Restauración de humedales sin el uso de establecimiento de vegetación o acciones mínimas	RWE
	Humedal o manglar con deforestación o degradación	Conservación para evitar la deforestación/ degradación forestal y restauración de humedales	REDD+RWE
Humedal intacto o mínimamente alterado	Sin cubierta forestal	Evitar el drenaje y/o la interrupción del suministro de sedimentos Evitar la conversión a aguas abiertas o humedal incautado Evitar la degradación	CIW
	Manglar con deforestación o degradación	Evitar el drenaje o la degradación de los humedales combinado con evitar la deforestación/degradación de los bosques	CIW+REDD

Si bien el Estándar de Carbono Verificado (VCS, por sus siglas en inglés) cuenta con numerosas metodologías, existen pocas opciones para proyectos potenciales de carbono azul (VM0007, VM0024 y VM0033), solo la metodología VM0007 tiene módulos específicos para combinar actividades de reducción de emisiones por degradación y deforestación (REDD) y actividades de restauración y manejo (WRC/RWE), así como la combinación de actividades de aforestación, revegetación y reforestación (ARR) y conservación y restauración de humedales (WRC/RWE), las cuales permiten hacer estimaciones por la combinación de dichas actividades. Estas tienen como resultado el restablecimiento de los procesos ecológicos, las funciones y los aspectos bióticos y abióticos que conduzcan a sistemas persistentes y resistentes integrados en el paisaje. Las actividades incluyen la mejora, la creación y/o la gestión de las condiciones hidrológicas, la modificación de los niveles del suelo (manejo topográfico), las características de salinidad, la calidad del agua y/o las comunidades de plantas nativas (Figura 17). Debido a lo anterior se consideró que dicha metodología es la más flexible a aplicar para las diversas circunstancias de degradación que presentan los sitios.

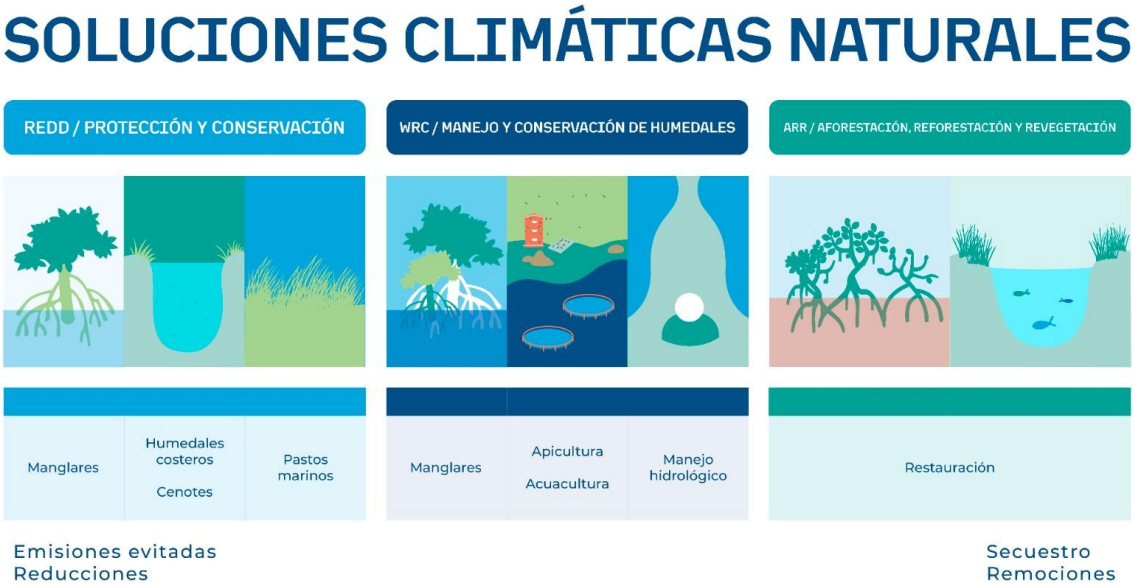


Figura 17. Tipo de actividades que es posible combinar dentro de la metodología VM0007 del estándar de VCS.

13. Resultados de estimación de mitigación de CO_2 en ecosistemas de carbono azul

13.1 Ecosistemas de manglar

Para el presente análisis se consideraron las emisiones de dióxido de carbono (CO_2e) con potencial de ser removidas a través de actividades de Aforestación, Revegetación y Reforestación (ARR por sus siglas en inglés) y de Conservación y Restauración de Humedales (WRC por sus siglas en inglés). Se estimó el potencial de mitigación de CO_2 empleando el cálculo para dos tipos de intervención: 1) emisiones evitadas y captura a través de restauración combinando REDD y RWE.

La remoción de emisiones de CO_2 asociadas a las actividades de restauración dependen del plan de restauración y de las áreas anuales recuperadas. Para las estimaciones se consideró el número de hectáreas a restaurar de manglar perturbado en cada una de las áreas naturales protegidas (ANP) para cada uno de los estados (Tabla 33), así como para la superficie total de manglar perturbado fuera de las ANP para cada estado (Tabla 32), con un plan de siembra anual para cada una de las estimaciones. Los proponentes del proyecto deben considerar la complejidad y los recursos necesarios para implementar un proyecto de restauración de manglares.

Tabla 32. Superficie de manglar perturbado fuera de las ANP de cada estado de la PY y el plan anual de siembra (un año) en un escenario a 20 años

Estado	Superficie de manglar perturbado fuera de ANP (ha)	Plan de siembra anual (ha)
Campeche	21	21
Yucatán	893	893
Quintana Roo	522	522

Tabla 33. Superficie de manglar perturbado de cada una de las ANP para cada estado de la PY y el plan anual de siembra en un escenario a un año. NA= no aplica S/D= sin dato

Estado	Nombre de ANP	Superficie de manglar degradado (ha)	Plan de siembra anual (ha)
Campeche	Pantanos de Centla	S/D	NA
Campeche	Laguna de Términos	374	374
Campeche	Los Petenes	635	635
Campeche	Ria Celestún	17	17
Yucatán	Ría Celestún	0	NA
Yucatán	Playa Ría Lagartos	S/D	NA
Yucatán	Ría Lagartos	46	46
Quintana Roo	Ría Lagartos	0	NA
Quintana Roo	Yum Balam	1	NA
Quintana Roo	Tiburón Ballena	S/D	NA
Quintana Roo	Caribe Mexicano	192	192

Estado	Nombre de ANP	Superficie de manglar degradado (ha)	Plan de siembra anual (ha)
Quintana Roo	Playas de Isla Contoy	0	NA
Quintana Roo	Isla Contoy	8	8
Quintana Roo	Costa Occ. de I. Mujeres, Pta. Cancún y Pta. Nizuc	S/D	NA
Quintana Roo	Manglares de Nichupté	5	5
Quintana Roo	Arrecife de Puerto Morelos	S/D	NA
Quintana Roo	La porción norte y la franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel	289	289
Quintana Roo	Arrecifes de Cozumel	1	NA
Quintana Roo	Jaguar	S/D	NA
Quintana Roo	Tulum	S/D	NA
Quintana Roo	Arrecifes de Sian Ka'an	S/D	NA
Quintana Roo	Sian Ka´an	5	5
Quintana Roo	Uaymil	30	30
Quintana Roo	Banco Chinchorro	3	3
Quintana Roo	Arrecifes de Xcalak	118	118

Las estimaciones de potenciales de Unidades Verificadas de Carbono (VCU) se realizaron asumiendo un escenario de restauración de la superficie (ha) degradada de manglar intervenida en un año empezando en el año uno y en 20 años de acreditación con un 15% de fugas y un riesgo del 20%. Se utilizó un valor conservativo para el porcentaje de riesgo y de fugas. Cabe mencionar que estas estimaciones son ex ante, es decir se realizaron con datos de publicaciones que si bien no son datos exactos son las aproximaciones más cercanas que se pueden tener. Es importante considerar que será necesario para el desarrollo de un proyecto de carbono llevar a cabo estimaciones en campo (ex post) de los sitios específicos para obtener mayor precisión y seguir adecuadamente los lineamientos del estándar de VCS, así como el desarrollo de un plan de monitoreo, reporte y verificación.

Las estimaciones de emisiones removidas por actividades de Aforestación, Revegetación y Reforestación (ARR por sus siglas en inglés) y Restauración y Conservación de Humedales (WRC por sus siglas en inglés) para toda la superficie de manglar degradado en la península de Yucatán fue de 2,246,139 tCO_2e emisiones netas removidas (NER), generando un total de VCU 1,509,743 tCO2e (Tabla 34). Para la superficie de manglar degradado fuera de las ANP en la península de Yucatán fue de 1,029,992 tCO_2e de emisiones netas removidas y un total de VCU de 700,394tCO_2e (Tabla 35). Y para la superficie de manglar degradado dentro de las ANP en la península de Yucatán fue de 1,216,147 tCO_2e de emisiones netas removidas y un total de VCU de 809,349 tCO_2e (Tabla 36).

Tabla 34. Estimaciones de emisiones removidas por actividades de ARR y WRC para toda la superficie de manglar degradado en la península de Yucatán y las estimaciones de Unidades Verificadas de Carbono (VCU) a lo largo de 20 años

Escenario de proyecto (20 años)	Superficie total de manglar perturbado (dentro y fuera de ANP) (ha)	NER ARR-WRC (tCO2e)	Total VCU (tCO_2e) ARR-WRC
Península de Yucatán	3,162	2,246,139	1,509,743

Tabla 35. Estimaciones de emisiones removidas por actividades de ARR y WRC para la superficie de manglar degradado fuera de ANP en la península de Yucatán y las estimaciones de Unidades Verificadas de Carbono (VCU) a lo largo de 20 años

Escenario de proyecto (20 años)	Superficie de manglar perturbado fuera de ANP (ha)	NER ARR-WRC (tCO2e)	Total VCU (tCO_2e) ARR-WRC
Península de Yucatán	1,437.53	1,029,992	700,394

Tabla 36. Estimaciones de emisiones removidas por actividades de ARR y WRC para la superficie de manglar degradado dentro de ANP en la península de Yucatán y las estimaciones de Unidades Verificadas de Carbono (VCU) a lo largo de 20 años

Escenario de proyecto (20 años)	Superficie de manglar perturbado dentro de ANP (ha)	NER ARR-WRC (tCO2e)	Total VCUs (tCO_2e) ARR-WRC
Península de Yucatán	1,724.46	1,216,147	809,349

13.2 Resultados de estimaciones de remociones ARR-WRC (mitigación de CO_2) por estado

El estado que cuenta con una mayor superficie de manglar perturbado fuera de ANP es el estado de Yucatán (893 ha). Se estima un total de 1,029,992 tCO_2e de emisiones netas removidas y una estimación de 700,394 VCU (Tabla 37).

Para la superficie de manglar degradado dentro de las ANP, Campeche cuenta con la mayor superficie de manglar degradado (1,026 ha), sin embargo, Quintana Roo, presenta las estimaciones más altas de remociones por actividades ARR y WRC. Se estima un total de 1,216,147 tCO_2e de emisiones netas removidas y un total de VCU de 809,349 tCO_2e (Tabla 38Tabla 37).

Tabla 37. Estimación de remociones por actividades de ARR y WRC para la superficie de manglar degradado fuera de las ANP en cada uno de los estados

Estado	Superficie de manglar perturbado fuera de ANP (ha)	NER ARR-WRC (tCO2e)	Total VCU (tCO_2e) ARR-WRC
Campeche	21	11,973	8,142
Yucatán	893	529,834	360,287

Quintana Roo	522	488,185	331,965

Tabla 38. Estimación de remociones por actividades de ARR y WRC para la superficie de manglar degradado dentro de las ANP en cada uno de los estados.

Estado	Superficie de manglar perturbado dentro de ANP (ha)	NER ARR-WRC (tCO2e)	Total, VCU ARR-WRC (tCO2e)
Campeche	1,026	580,961	395,054
Yucatán	46	27,293	928
Quintana Roo	652	607,893	413,367

En Tabla 39 se presenta un desglose de la superficie total de manglar, de manglar degradado dentro de las ANP y las estimaciones de remociones netas por actividades ARR y WRC, así como el total de total de VCU y el promedio de VCU en un escenario de acreditación a 20 años.

Tabla 39. Superficies de manglar degradado, emisiones netas removidas, total de VCU y un promedio en un escenario de acreditación de 20 años para cada una de las ANP.

Estado	Nombre de ANP	Categoría	Superficie total (ha)	Superficie de manglar degradado (ha)	NER ARR-WRC (tCO2e)	Total, VCU ARR-WRC (tCO2e)	Promedio en 20 años VCU ARR-WRC (tCO2e)
Campeche	Pantanos de Centla	Reserva de la Biosfera	302,707	S/D	S/D	S/D	S/D
Campeche	Laguna de Términos	Área de Protección de Flora y Fauna	706,148	374	213,238	145,002	7,250
Campeche	Los Petenes	Reserva de la Biosfera	282,858	635	358,030	243,461	12,814
Campeche	Ria Celestún	Reserva de la Biosfera		17	9,693	6,591	330
Yucatán	Ría Celestún	Reserva de la Biosfera	81,482	0			
Yucatán	Playa Ría Lagartos	Santuario	827	S/D	S/D	S/D	S/D
Yucatán	Ría Lagartos	Reserva de la Biosfera	60,348	46	27,293	928	18,559
Quintana Roo	Ría Lagartos	Reserva de la Biosfera		0			
Quintana Roo	Yum Balam	Área de Protección de Flora y Fauna	154,052	1	NA	NA	NA
Quintana Roo	Tiburón Ballena	Reserva de la Biosfera	145,988	S/D	S/D	S/D	S/D

Estado	Nombre de ANP	Categoría	Superficie total (ha)	Superficie de manglar degradado (ha)	NER ARR-WRC (tCO2e)	Total, VCU ARR-WRC (tCO2e)	Promedio en 20 años VCU ARR-WRC (tCO2e)
Quintana Roo	Caribe Mexicano	Reserva de la Biosfera	5,754,055	192	179,562	122,102	6,105
Quintana Roo	Playas de Isla Contoy	Santuario	11	0	NA	NA	NA
Quintana Roo	Isla Contoy	Parque Nacional	5,126	8	7,482	5,088	254
Quintana Roo	Costa Occ. de I. Mujeres, Pta. Cancún y Pta. Nizuc	Parque Nacional	8,673	S/D	S/D	S/D	S/D
Quintana Roo	Manglares de Nichupté	Área de Protección de Flora y Fauna	4,258	5	4,676	3,180	159
Quintana Roo	Arrecife de Puerto Morelos	Parque Nacional	9,067	S/D	S/D	S/D	S/D
Quintana Roo	La porción norte y la franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel	Área de Protección de Flora y Fauna	37,829	289	270,278	183,789	9,189
Quintana Roo	Arrecifes de Cozumel	Parque Nacional	11,988	1	NA	NA	NA
Quintana Roo	Jaguar	Área de Protección de Flora y Fauna	2,250	S/D	S/D	S/D	S/D
Quintana Roo	Tulum	Parque Nacional	664	S/D	S/D	S/D	S/D
Quintana Roo	Arrecifes de Sian Ka'an	Reserva de la Biosfera	34,927	S/D	S/D	S/D	S/D
Quintana Roo	Sian Ka´an	Reserva de la Biosfera	528,148	5	4,676	3,180	159
Quintana Roo	Uaymil	Área de Protección de Flora y Fauna	89,118	30	28,057	19,078	954
Quintana Roo	Banco Chinchorro	Reserva de la Biosfera	144,360	3	2,806	1,908	95
Quintana Roo	Arrecifes de Xcalak	Parque Nacional	17,949	118	110,356	75,042	3,752

En el siguiente enlace (Estimaciones 20 años) se puede encontrar las estimaciones para cada uno de los estados que incluyen las remociones estimadas y emisiones evitadas.

Como se mencionó anteriormente, se carece de información de la superficie degradada de los pastos marinos, así como de humedales que permita hacer cálculos para las estimaciones de remociones por actividades de ARR y WRC. El equipo consultor se encuentra todavía en una fase de búsqueda de información para poder hacer estimaciones que permitan tener una aproximación sobre el potencial de mitigación de CO_2 para pastos marinos y otros humedales.

13.3 Resultados de estimaciones de emisiones evitadas REDD-WRC (mitigación de CO_2) por estado

El presente análisis consideró las emisiones con potencial de ser evitadas (REDD) con actividades que permitan intervenir con actividades de manejo hidrológico (RWE).

Para la estimación los beneficios climáticos (cantidad de VCUs) se consideró la superficie de manglar conservado y degradado para cada uno de los estados de la Península de Yucatán dentro y fuera de ANP para los tres estados. Y se consideraron los almacenes de carbono reportados por Herrera-Silveira et., al 2020 para la península de Yucatán (estimaciones ex ante, es decir con datos reportados por la literatura).

Para el cálculo del potencial de emisiones evitadas la metodología utilizada de VCS, si bien considera la tasa de degradación, se basa principalmente la tasa de deforestación, lo que tiene una implicación muy fuerte para el caso de lo que sucede en los manglares en México, ya que a pesar de tener un aumento en la cobertura de manglar puede ser que el manglar esté "enfermando" es decir, que es probable que sí exista un cambio de vegetación, pasando de manglar a vegetación de humedales de agua dulce. Este análisis es determinante para mitigar la consideración del uso de la tasa de degradación, sin embargo, para hacer este análisis de cambio de uso de suelo y vegetación es necesario contar con mayor tiempo que el que fue considerado en la consultoría ya que es necesaria hacer una verificación directa en campo y recorridos a todos los sitios de la PY.

Los resultados sobre la cantidad de VCUs y estimación de emisiones evitadas por actividades REDD y WRC para la superficie de manglar conservado fuera y dentro de las ANP en cada uno de los estados fueron negativos (Tabla 40; Tabla 41), indicando que no es viable la obtención de créditos (VCUs). Esto resultados podrían cambiar considerablemente al hacer el análisis de uso de suelo y vegetación asi como los valores que se obtengan una vez tomadas las muestras en campo de cada almacén de carbono y se obtengan los valores puntuales para cada sitio.

Tabla 40. Estimaciones de emisiones evitadas por actividades REDD y WRC para la superficie de manglar conservado fuera de las ANP en cada uno de los estados

Estado	Superficie de manglar conservado fuera de ANP (ha) 2020	NER REDD-WRC (tCO2e)	Total VCU (tCO_2e) REDD-WRC
Campeche	17,241.59	-976,009	-780,807

Yucatán	63,631.44	-1,167,878	-934,302
Quintana Roo	62,995.96	-61,199,772	-48,959,818

Tabla 41. Estimaciones de emisiones evitadas por actividades REDD y WRC para la superficie de manglar conservado dentro de las ANP en cada uno de los estados.

Estado	Superficie de manglar conservado dentro de ANP (ha) 2020	NER REDD-WRC (tCO2e)	Total, VCU REDD- WRC (tCO2e)
Campeche	182,835.18	-184,404	-147,523
Yucatán	33,392.70	-885,020	-708,016
Quintana Roo	168,522.97	-60,668,092	-48,534,474

i. Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos para las estimaciones de beneficios climáticos por emisiones removidas por actividades de ARR y WRC y emisiones evitadas por actividades REDD y WRC se encontró que es mucho más viable con los insumos e información contenida hasta el momento obtener créditos (VCUs) por emisiones removidas por actividades de ARR y WRC. Sin embargo, se recomienda realizar un análisis de cambio de uso de suelo y vegetación para las áreas conservadas dentro y fuera de las ANP y realizar la toma de muestras en campo para la obtención de los almacenes en las zonas conservadas y degradadas para los tres estados de la Península de Yucatán ya que pudiera haber una gran diferencia en los datos de almacenes que se utilizaron reportados por Herrera-Silveira et., al 2020 para la península de Yucatán (estimaciones ex post). Además de que la metodología para Deforestación y Degradación Forestal (REDD+) de VCS se encuentra en revisión, lo que habría que revisar antes de realizar estos análisis para hacer eficientes los recursos obtenidos.

La restauración del total de sitios priorizados para la Península de Yucatán tiene el potencial de generar 2,246,139 tCO_{2e}, una vez restado 15% de fugas (mínimo recomendado con base en proyectos en proceso de certificación) y de 20% de buffer al proyecto, aunque cabe mencionar que los porcentajes de buffer son de tipo administrativo y de principio de precaución para la acreditación del proyecto. Esta estimación es *ex ante*; una vez definidos los sitios de ARR se deberá llevar a cabo la estimación de línea base, escenario de referencia y estratificación acorde a las metodologías del estándar de certificación.

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se requiere diseñar un plan de restauración para cada sitio, estimar los costos asociados a la administración y la operación del proyecto (actividades de rehabilitación hidrológica, modificación topográfica y reforestación, monitoreo y evaluación) en el tiempo de acreditación (20 años) a partir de un diagnóstico específico para cada sitio (ecología forense). También deberán estimarse los montos asociados con la distribución de beneficios y, en el caso de implementarlo bajo finanzas de carbono, determinar los costos relacionados con el diseño del proyecto y elaboración del Documento de Diseño del Proyecto (PDD), así como los costos de verificación y registro ante el estándar seleccionado.

Se llegó a la conclusión de que falta de información sobre el almacenamiento y los flujos de carbono en los humedales dulceacuícolas de México. Dada la escasez de información sobre los flujos de carbono en estos humedales, resulta importante incluir esta demanda en la lista de proyectos prioritarios para obtener financiamiento que permita su manejo sostenible, rehabilitación y restauración. Además, las instituciones que cuentan con los equipos necesarios para medir los flujos de gases de carbono deben esforzarse en estandarizar las técnicas de medición y capacitar a su personal en estas metodologías estandarizadas. Esto permitiría aplicar estas técnicas en más sitios de humedales en México y obtener datos en diferentes regiones del país y poder hacer un cálculo de las estimaciones de remociones por actividades ARR y WRC. De igual manera como para los pastos marinos, se deben redoblar esfuerzos para estimar la pérdida de la superficie de estos ecosistemas con la finalidad de tener herramientas y poder decidir qué actividades son las indicadas para los proyectos de carbono para otros humedales y pastos marinos.

La escasez de investigaciones relacionadas con el carbono azul de los pastos marinos indica la necesidad de implementar nuevas tecnologías que permitan comprender mejor los factores y los

procesos vinculados con la distribución espacial de los pastos marinos. Además, es importante generar mapas temáticos de alta relevancia y utilidad para la toma de decisiones. Por ejemplo, la creación de productos cartográficos con una resolución espacial más detallada que el estudio actual resultará beneficioso para evaluar las tasas de pérdida y las causas que la impulsan. Para una mejor evaluación de las existencias de carbono, sería deseable realizar un mapeo de las praderas marinas por especies.

La información cartográfica consultada permitió hacer un análisis general de las condiciones en las que se encuentra la cobertura de manglar, manglar perturbado, otros humedales y pastos en el área buffer de 20 km en la Península de Yucatán. Esta aproximación con las diversas variables usadas en el análisis permitió identificar sitios de interés para la implementación de actividades en el proyecto ACCIÓN. Sin embargo, se considera importante llevar a cabo análisis más detallados con imágenes Sentinel-2 y trabajo de campo específico en los sitios de implementación de las actividades (ARR), que permitan tener mayor precisión de los cambios en la pérdida o la ganancia de las diferentes coberturas.

Es necesaria la vinculación y la conformación de alianzas con otras organizaciones e instituciones, académicas entre otras, para realizar monitoreo y validación de los sitios específicos de implementación, en los que se puedan hacer vuelos con drones o tomar fotográficas aéreas y generar mosaicos de imágenes, que permitan afinar la información de las diferentes coberturas y uso del suelo y de pastos marinos en el área marino-costera de la Península de Yucatán.

ii. Revisión de literatura

- Adame, M.F. 2013. Carbon stocks of tropical coastal wetlands within the karstic landscape of the Mexican Caribbean. PLoS ONE 8.
- Adame M.F, Brown CJ, Bejarano M, Herrera-Silveira JA, Ezcurra P, Kauffman JB, Birdsey R. 2018. The undervalued contribution of mangrove protection in Mexico to carbon emission targets. Conservation Letters 11: e12445
- Adame, M.F., Kauffman, J., Medina, I., Gamboa, J., Torres, O., Caamal, J., Reza, M., & Herrera-Silveira, J. (2013). Carbon stock of tropical coastal wetlands within the Karstic landscape of the Mexican Caribbean. PLoS ONE, 8, e56569.
- Adame, M., Santini, N. S., Tovilla, C., Vázquez-Lule, A., Castro, L., & Guevara, M. (2015). Carbon stocks and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. Biogeosciences, 12, 3805–3818.
- Alongi DM. 2008. Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. Estuarine, Coastal and Shelf Science 76:1 13.
- Arenas, G. P. 2019. The potential of Blue Carbon Management in Mexico: a case study from the Biosphere Reserve of Sian Ka'an. Tesis de maestría. Manchester, Reino Unido.
- Atwood, T. B., Connolly, R. M., Almahasheer, H., Carnell, P. E., Duarte, C. M., Ewers Lewis, C. J., ... & Lovelock, C. E. (2017). Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. Nature Climate Change, 7(7), 523-528
- Bejarano, M., López, E., y Rosette, M. 2016. Análisis de la Situación Política y Económica del Carbono Azul en México. PNUD CSP-2016-057. Programa Mexicano del Carbono, Pronatura Sur, FMCN, CEMDA, CINVESTAV-IPN.
- Casiano-Domínguez, M., Paz-Pellat, F., Covaleda-Ocon, S y Aryal D.R. 2018. El carbono de la biomasa aérea medido en cronosecuencias: primera estimación en México. Madera y bosques vol. 24.
- CCA. 2017. Análisis de las oportunidades para la integración del concepto de carbono azul en la política pública mexicana, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 102 pp.
- CEC. 2016. North America's Blue Carbon: Assessing Seagrass, Salt Marsh and Mangrove Distribution and Carbon Sinks. Montreal, Canada: Commission for Environmental Cooperation. 54 pp.
- CEC-Mapas de Carbono Azul de América del Norte Commission for Environmental Cooperation (CEC). 2021. http://www.cec.org/north-american-environmental-atlas/north-american-blue-carbon-2021/
- Cinco-Castro S, Herrera-Silveira J and Comín F. 2022: Sedimentation as a Support Ecosystem Service in Different Ecological Types of Mangroves. Front. For. Glob. Change 5:733820. doi: 10.3389/ffgc.2022.733820
- Cinco-Castro, S., y Espinosa-Garduño, M. (2021). Conservación del carbono en manglares: herramienta de mitigación al cambio climático en los Petenes, Campeche. En: Hernández A., J. M., M. G. Manzano, M. A. Bolaños y P. Ibarra (Editores). 2021. Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2021. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Tecnológico de Monterrey. Texcoco, Estado de México, México. 640 p.
- Cisneros-de la Cruz D.J., J. A Herrera-Silveira, C. Teutli-Hernández, S.A Ramírez-García, A. Moreno-Martínez, J. Mendoza-Martínez, J. Montero-Muñoz, F. Paz-Pellat, R. M. Roman-Cuesta. 2021. Manual para la Medición, Monitoreo y Reporte del Carbono y Gases de Efecto

Invernadero en Manglares en Restauración. Proyecto, Mainstreaming Wetlands into the Climate Agenda: A multi-level approach (SWAMP). CIFOR/CINVESTAVIPN/UNAM-Sisal/PMC, 90pp

- Collier, C.J., Lavery, P.S., Masini, R.J., and Ralph, P.J. 2007. Morphological, growth and meadow characteristics of the seagrass Posidonia sinuosa along a depth-related gradient of light availability. Marine Ecology Progress Series, 337: 103-115.
- CONABIO. (2016). Distribución de los manglares en México en 2015, escala: 1:50000. edición: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM). Ciudad de México, México.
- CONABIO. 2020. Distribución de los manglares en México en 2020, Ciudad de México. Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/monitoreo/smmm/extensionDist
- CONABIO, Portal de Geoinformación, 2023. Sistema Nacional de Información sobre biodiversidad. Monitoreo de Manglares. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/
- CONAFOR. 2020. Estimación de la tasa de deforestación en México para el periodo 2001-2018 mediante el método de muestreo. Documento Técnico. Jalisco, México."
- CONAFOR. 2015. Estimación de las reservas de carbono en la biomasa forestal en México. Protocolo. Gobierno de Noruega.
- Duarte, C.M., Middelburg, J.J. & Caraco, N. 2005. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. Biogeosciences, 2, 1–8.
- Jaramillo, V. J., J. B. Kauffman, L. Rentería-Rodríguez, D. L. Cummings, and L. J. Ellingson. 2003. Biomass, carbon, and nitrogen pools in Mexican tropical dry forest landscapes. Ecosystems 6:609-629.
- Dupuy-Rada, J.M. 2020. “Amenazas a la biodiversidad de la Península de Yucatán, retos y necesidades de investigación.” Sociedad Científica Mexicana de Ecología. Biodiversidad de la Península de Yucatán: estado del arte y retos ecológicos contemporáneos. Centro de Investigación científica de Yucatán, A.C.
- 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, 293–297.
- Espinosa-Garduño, M., Cinco-Castro, S. & López-Rosario, S. 2010. Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. Nature Climate Change, 7(7), 523-528
- Erosa-Angulo J.; J. A. Herrera-Silveira Jorge; J. Caamal-Sosa; L. Carrillo-Baeza y C. Teutli-Hernández. 2016. Potencial de captura de carbono en los manglares en diferentes escenarios ambientales de la Península de Yucatán. 344-349
- Friess, D. A. 2016. Mangrove forests. Current Biology 26: R739–R755.
- Gobierno de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2020. Contribución Determinada a nivel Nacional: México. Versión actualizada 2020.
- Gumbricht, T., Roman-Cuesta, R. M., Verchot, L., Herold, M., Wittman, F., Householder, E., Herold, N., & Murdiyarso, D. 2017. An expert system model for mapping tropical wetlands and peatlands reveals South America as the largest contributor. Global Change Biology 23: 3581-3599.
- Hamilton S. E. and D. Casey. 2016. Creación de un alto espaciotemporal resolución base de datos global de cubierta forestal continua de manglares para el siglo XXI (CGMFC-21). Ecología Global y Biogeografía, (Global Ecol. Biogeogr.) 25,729–738
- Hernández, M. E., Campos, A., Marín-Muñiz, J. L., & Moreno-Casasola, P. (2016). Almacenes de carbono en selvas inundables, manglares, humedales herbáceos y potreros inundables. En Moreno Casasola, P. (ed.), Servicios ecosistémicos de las selvas y bosques

costeros de Veracruz (pp. 121-129). Xalapa, Veracruz, México: INECOL–ITTO-CONAFOR–INECC

- Hernández, M. E., & Moreno-Casasola B., P. (2018). Almacenes y flujos de carbono en humedales de agua dulce en México. Madera y Bosques, 24(Núm. esp.), e2401881. d
- Herrera-Silveira JA, Camacho-Rico A, Caamal-Sosa J, Cinco-Castro S, Morales-Ojeda S, Ramírez-Ramírez J, Zenteno-Díaz K, Pech-Poot E, Pech-Cárdenas M, Carrillo-Baeza L, Erosa-Angulo J, Pérez-Martínez O, Teutli-Hernández C. 2018a. Database of carbon stocks in the mangroves of Mexico. Elementos para Políticas Públicas 2(1):33 44.
- Herrera-Silveira JA, Pech-Cárdenas MA, Morales-Ojeda SM, Cinco-Castro S, Camacho-Rico A, Caamal Sosa JP, Mendoza-Martínez JE, Pech-Poot EY, Montero J, Teutli-Hernández C. 2020. Blue carbon of Mexico, carbon stocks and fluxes: a systematic review. PeerJ 8: e8790.
- Herrera-Silveira, J. A., A. R. Camacho, E. Pech, M. Pech, J. Ramírez, C. Teutli Hernández. 2016. Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México", Terra Latinoamericana, 34: 61-72.
- Herrera-Silveira, Jorge A., Juan E. Mendoza-Martínez, Oscar Pérez-Martínez, Sergio Solís Gamboa, Ángel García Trasviña, Eunice Pech, Juan Caamal, Minerva Rosette. 2018. Almacenes de carbono en manglar y pastos marinos del área de protección de flora y fauna reserva de Yum Balam. Informe Técnico Final. PMCCINVESTAV-CEMDA.A9
- Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. 2014. 2013 Supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. Geneva, Switzerland: IPCC.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., & Telszewski, M. (Eds.), 2014. Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows. Arlington, Virginia, USA: Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature.
- Hughes, R., J. B. Kauffman, and V. J. Jaramillo. 1999. Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid region of México. Ecology 80:1892-1907
- INECC. 2020. Revisión y análisis de documentos sobre valoración económica de los servicios ecosistémicos de México de 1990 a 2019. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México.
- INEGI. 2016. Marco Geoestadístico Nacional 2016. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía."
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2018. Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en: https://cambioclimatico.gob.mx/sexta-comunicacion/index.php
- *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. 2013 Supplement to the 2006 IPCC guidelines for national*
- IPCC. 2003. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura [USCUS]. Génova, Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (H.S. Eggleston, Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. Ed. Vol. 4). Hayama, Japan. Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- IPCC. 2013. Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero: Humedales, Capítulo 4. Tabla 4.13.

- IPCC. 2014: Cambio climático 2014. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- Kaplowitz, M. D. 2001. Assessing mangrove products and services at the local level: the use of focus groups and individual interviews. Landscape and Urban Planning, 56(1-2), 53-60.
- Kauffman JB, Donato DC y Adame MF. 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.
- Kauffman, J. B., Hernandez Trejo, H., del Carmen Jesús García, M., Heider, C., & Contreras, W. 2015. Carbon stocks of mangroves and losses arising from their conversion to cattle pastures in the Pantanos de Centla, Mexico. Wetlands Ecology and Management, 23, 1–14.
- Kauffman, J. B. y Donato, D. C. 2012. Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass, and carbon stocks in mangrove forests. Working paper 86. Bogor, Indonesia.
- Kauffman, J. B., M. F. Adame, V. B. Arifanti, L. M. Schile-Beers, A. F. Bernardino, R. K. Bhomia, D. C. Donato, I. C. Feller, T. O. Ferreira, M. C. Jesús García, R. A. MacKenzie, J. P. Megonigal, D. Murdiyarso, L. Simpson, and H. Hernández Trejo. 2020. Total ecosystem carbon stocks of mangroves across broad global environmental and physical gradients. Ecological Monographs 00(00): e01405.
- Kennedy, H., and M. Björk. 2009. Seagrasses. In: The management of natural coastal carbon sinks in coastal ecosystems: Investigating and realizing the potential 23–30. D. d'A Laffoley and G. Grimsditch, eds. Gland, Switzerland: IUCN.
- Kennedy, H., Beggins, J., Duarte, C.M., Fourqurean, J.W., Holmer, M., Marbà, N. et al. (2010). Seagrass sediments as a global carbon sink: Isotopic constraints. Global Biogeochemical Cycles, 24.
- Laboratorio de Producción Primaria, CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, Mérida, Yucatán, México. 2 Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México.
- Landgrave, R y P. Moreno-Casasola. 2011. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. Investigación ambiental 2012 4(1): 19-35. Red de Ecología funcional. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz, México.
- Lo Iacono, C., Mateo, M.A., Gràcia, E., Guasch, L., Carbonell, R., Serrano, L. et al. 2008. Very high-resolution seismo-acoustic imaging of seagrass meadows (Mediterranean Sea): Implications for carbon sink estimates. Geophysical Research Letters, 35.
- Lovelock, C. E., Ruess, R. W., & Feller, I. C. 2011. CO_2 efflux from cleared mangrove peat. PLoS One, 6, e21279.
- Lugo A. E., & Snedaker, S. C. 1974. The Ecology of Mangroves. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 5, 39–64.
- Masera, O., B. H. J. De Jong, I. Ricalde y A. Ordóñez. 2000. Consolidación de la Oficina Mexicana para la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero. Reporte Final. México: INE-UNAM.
- McLeod, K. W., G. L. Chmura, S. Bouillon, R. Salm, M. Bjork, C. M. Duarte, C. E. Lovelock, H. Schlesinger, and B. R. Silliman. 2011. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO_2. Frontiers in Ecology and the Environment 9:552–560.

- Moher D, Liberati A, Tetzaff J, Altman DG. 2009. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. Annals of Internal Medicine 151(4):264-269.
- Moreno-Casasola, P., D. Infante Mata y H. López-Rosas. En prensa. Tropical freshwater swamps and marshes. En: D.P. Batzer y A.H. Baldwin (eds). Wetland Habitats of North America: Ecology and Conservation Concerns. Univ. of California Press
- Moreno-Casasola, P. 2008. Los humedales en México: tendencias y oportunidades. Cuadernos de Biodiversidad 28 (Univ. de Alicante, España): 10-18.
- Murdiyarso, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., Kurnianto, S. 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation
- M. I., Ressl, R., Uribe-Martínez, A., Cerdeira-Estrada, S., AcostaVelázquez, J., Díaz-Gallegos, J., Jiménez-Rosenberg, R., FueyoMac Donald, L. y Galindo-Leal, C. 2013. Manglares de México/ Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. 128 pp.
- Murray, B., Pendleton, L., Jenkins, A., Sifleet, S. 2011. Green Payments for Blue Carbon: Economic Incentives for Protecting Threatened Coastal Habitats. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. Duke University, p. 43.
- Nellemann, C., E. Corcoran, C.M. Duarte, L.Valdés, C. De Young, L. Fonseca, and G. Grimsditch (eds). 2009. Blue Carbon: A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme: GRID-Arendal Available at: www.grida.no
- Parra-Tabla, V. 2020. "La conservación de la vegetación de dunas costeras de la Península de Yucatán: entre el azar, la urbanización y las especies invasoras". Sociedad Científica Mexicana de Ecología. Biodiversidad de la Península de Yucatán: estado del arte y retos ecológicos contemporáneos. Departamento de Ecología Tropical, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán.
- PHINA. Padrón e Historial de Núcleos Agrarios. 2023. RAN-Desarrollo territorial. https://phina.ran.gob.mx/
- 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,
- Saintilan, N., Rogers, K., Mazumder, D. & Woodroffe, C. (2013). Allochthonous and autochthonous contributions to carbon accumulation and carbon store in southeastern Australian coastal wetlands. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 128, 84–92
- Sasmito SD, Taillardat P, Clendenning JN, et al. 2019. Effect of land-use and land-cover change on mangrove blue carbon: A systematic review. Glob Change Biol. 00:1–12.
- Short, F. T. y C. A. Short (1984), "The seagrass filter: Purification of coastal water" [Filtros de pastos *marinos: purificación de aguas costeras], V. S. Kennedy (ed.), The estuary as a filter, Academic Press, Waltham, pp. 395-413.*
- Silliman, S. W. (2009). Change and continuity, practice, and memory: Native American persistence in colonial New England. American antiquity, 74(2), 211-230.
- Simard, M., T. Fatoyinbo, C. Smetanka, V.H. Rivera-monroy, E. Castaneda-mova, N. Thomas, and T. Van der stocken. 2019. Global Mangrove Distribution, Aboveground Biomass, and Canopy Height. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA.
- Teutli-Hernández C.; M., Menéndez, F. Comín y J. A. Herrera-Silveira. 2016. Captura de carbono aéreo en una zona de manglar restaurado. 258-266.
- Teutli-Hernández C., J.A. Herrera-Silveira, D.J. Cisneros-de la Cruz., R. Roman-Cuesta. 2020. Guía para la restauración ecológica de manglares: Lecciones aprendidas. Proyecto,

Mainstreaming Wetlands into the Climate Agenda: A multi-level approach (SWAMP). CIFOR/CINVESTAV-IPN/UNAM-Sisal/PMC, 42pp.

- Troche-Souza, C., Rodríguez-Zúñiga, M.T., Velázquez-Salazar, S., Valderrama-Landeros, L., Villeda-Chávez, E., Alcántara-Maya, A., Vázquez-Balderas, B., Cruz-López, M.I. y Ressl, R. 2016. Manglares de México: extensión, distribución y monitoreo (1970/1980—2015). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- 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., Ressl R., De la Borbolla D. V. G., Paz O., Aguilar-Sierra V., Hruby F. y 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.

iii. Anexos

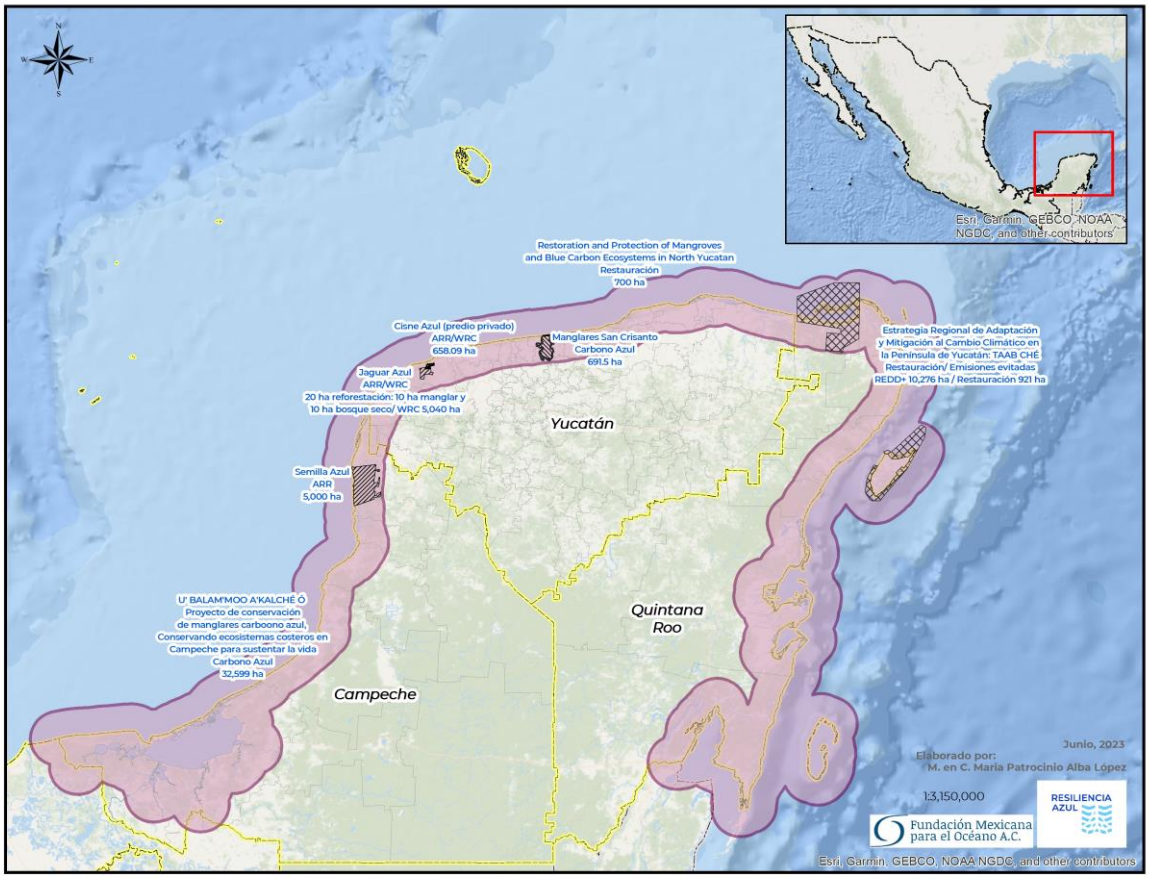
Anexo 1. Iniciativas de carbono azul bajo esquemas de MVC en diferentes estatus en la Península de Yucatán

Proyecto	Tema / subproyecto	Actividad económica vinculada	Ubicación	Área del proyecto	Especies	Año de línea base del proyecto	Actividades de manejo	Periodo	Potencial de mitigación [tCO2e]
Manglares San Crisanto	Carbono azul	1. Turismo sustentable 2. Cosecha de sal (minero) 3. Productos del coco (agrícola)	Sinanché, Yucatán, México	691.5 ha	Laguncularia racemosa (57%-manglar blanco), Rhizophora mangle (endémica), Avicennia germinans y Conocarpus erectus	2018	Restauración hidrológica Brigadas de recolección de basura, poda y vigilancia del manglar	30 años Inicio: 5 de mayo de 2018	35,370
U' BALAM'MOO A'KALCHÉ Ó PROYECTO DE CONSERVACIÓN DE MANGLARES DE CARBONO AZUL, CONSERVANDO ECOSISTEMAS COSTEROS EN CAMPECHE PARA SUSTENTAR LA VIDA	Carbono azul	1.Agricultura 2. Silvicultura 3. Pesca	Campeche, México	32,599 ha	Manglares (no específica)	2019	Rehabilitación y mantenimiento de canales de marea. Rehabilitación de suelos y promoción de la regeneración natural de manglares. Reforestación de manglares y monitoreo biofísico Capacitación comunitaria y desarrollo de talleres incluyendo intercambio de experiencias. Coordinación institucional para mejorar las actividades de conservación de los manglares.	40 años inicio: 14 de junio 2016	12,676,961

Estrategia Regional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático en la Península de Yucatán: TAAB CHÉ	Restauración / Emisiones evitadas	1. Ecoturismo 2. Pesca	ANP Yum Balam y Cozumel	REDD+ 10,276 ha / Restauración 921 ha	Conocarpus erectus, Avicennia germinans, Laguncularia racemosa and Rhizophora mangle	Inicio: 2019	Vigilancia y fortalecimiento de capacidades para la conservación; rehabilitación hidrológica, manejo topográfico y reforestación a través de colecta de plántulas.	20 años / Inicio: por definir	1,000,000 tCO2e
Semilla Azul	ARR	1. Ecoturismo, 2. Pesca, 3. Apicultura	Ejido Nunkiní, Campeche	ARR 5,000 ha	Conocarpus erectus, Avicennia germinans, Laguncularia racemosa and Rhizophora mangle	Estudio de factibilidad 2020-2022 (concluida) Inicio: Septiembre 2023	Aforestación, Revegetación y Reforestación basado en los resultados de ecología forense realizados en el sitio.	21 años	4,100,000 tCO2e
Jaguar Azul	ARR / WRC	1. Ecoturismo, 2. Manejo forestal, 3. Pesca	Ejido Sisal, Yucatán	20 ha reforestación: 10 ha manglar y 10 ha bosque seco / WRC 5,040 ha	Conocarpus erectus, Avicennia germinans, Laguncularia racemosa and Rhizophora mangle, especies de bosque seco	Inicio 2012-2016 / en validación	Control del fuego y plagas, mantenimiento del bosque seco y manglar. Reforestación	30 años	3,846,454 tCO2e
Cisne Azul (Predio privado)	ARR / WRC	1. Ecoturismo, 2. Apicultura	Predio privado en Sisal, Yucatán	658.09 ha	Conocarpus erectus, Avicennia germinans, Laguncularia racemosa and Rhizophora mangle	Estudio de factibilidad 2022-2023 (concluida) Inicio: Por definir	Rehabilitación hidrológica, modificaciones topográficas, apertura de canales, revegetación.	30 años	960,887 tCo2e
Restoration and Protection of Mangroves and Blue Carbon Ecosystems in North Yucatan	Restauración	1. Ecoturismo, 2. Pesca, 3. Apicultura	North Coast of the Yucatan Peninsula, Mexico on communal land belonging to two villages: Sisal and Dilma de Bravo, within the Reserva Estate	700 ha	Conocarpus erectus, Avicennia germinans, Laguncularia racemosa and Rhizophora mangle	PIN aprobado en noviembre 2021	Restauración hidrológica	30 años	No específica

			Ciénagas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán						

Las iniciativas de carbono azul bajo esquemas de mercado en diversas etapas de desarrollo en PY se encuentran distribuidas en los tres estados. En el mapa (Mapa 11) se visualizan estas iniciativas:



Mapa 11. iniciativas de carbono azul bajo esquemas de mercado en diversas etapas de desarrollo en PY

Anexo 2. Enlaces a información sistematizada y archivos shapes para los análisis de la consultoría

Base de datos de almacenes de carbono en el área buffer de la Península de Yucatán (Almacenes Carbono PY)

Plantillas de estimaciones de beneficios climáticos (mitigación) Estimaciones beneficios climáticos

Archivos shape de la vegetación de manglares, pastos marinos y humedales Archivos shape ECA

Glosario

Adicionalidad: Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) o secuestro de carbono que no se hubieran dado en ausencia de un proyecto. La adicionalidad puede ser de medida como una actividad de proyecto que tendrá carácter adicional si la reducción de emisiones de GEI es superior a la que se produciría en un escenario de línea de base.

AFOLU: Acrónimo en inglés usado para nombrar Agricultura, Silvicultura y otros usos del Suelo - categoría dada para todo este sector en la segunda guía elaborada por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) en el año 2006, para calcular las emisiones, y capturas de GEI del sector, con el fin de desarrollar los inventarios nacionales de GEI y que han sido reafirmadas por el Protocolo de Kioto. Los ecosistemas de manglar entran en esta categoría.

Bono de carbono: instrumento de comercialización de emisiones reducidas o absorbidas de GEI, generadas por proyectos desarrollados en el mercado de carbono.

Captura de carbono: implica que el CO_2 es capturado de la atmósfera a través de las raíces y del proceso de fotosíntesis llevado a cabo por los árboles y plantas, mediante el cual el CO_2 es almacenado como celulosa en sus troncos, ramas, hojas.

Carbono azul: Carbono acumulado en manglares, marismas y pastos marinos, en el suelo, la biomasa aérea viva (hojas, ramas y tallos), la biomasa subterránea viva (raíces) y la biomasa muerta (detritos y madera muerta). El carbono azul es el carbono acumulado en el suelo, la biomasa aérea viviente (hojas, ramas y tallos), la biomasa subterránea viviente (raíces) y la biomasa no viviente (por ejemplo, hojarasca y madera seca) de manglares, marismas y pastos marinos (Mcleod et al. 2011).

Certificados de Emisiones Reducidas (CER): nombre que reciben los créditos de carbono de los proyectos que se desarrollan bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto.

CER de corto plazo: CER temporales válidos por 5 años como máximo, con posibilidades de ser re-emitidos.

CER de largo plazo: CER temporales válidos hasta el final del período de acreditación del proyecto.

CER temporales: nombre que reciben los créditos de carbono de los proyectos forestales que se desarrollan bajo el MDL del Protocolo de Kioto.

Cobeneficios: Se refiere a todos aquellos beneficios de tipo social y ambientales generados a partir de la implementación de un proyecto de carbono azul, además del beneficio económico resultante de la comercialización de bonos de carbono.

Costos de transacción: costos adicionales de un proyecto que se originan para poder certificarlos bajo el MDL.

Créditos de carbono: emisiones reducidas o absorbidas de emisiones de GEI generadas vía proyectos. Son las unidades empleadas para el intercambio de emisiones reducidas de carbono en los mercados de carbono. Cada crédito equivale a una tonelada reducida de CO_2e.

ERPA: Emission Reduction Purchase Agreement (Acuerdo de Compra de Reducción de Emisiones, por sus siglas en inglés). Es un contrato legal entre entidades que compran y venden créditos de carbono. Un crédito de carbono es un permiso o certificado que permite al titular emitir dióxido de carbono (CO_2) u otros gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera. En un tipo de compensación, un comprador de créditos de carbono paga en efectivo por el derecho a emitir más que el nivel de CO_2 asignado por el Protocolo de Kioto, y el vendedor recibe efectivo por la obligación de producir menos CO_2. Para realizar este acuerdo, ambas partes deben firmar un documento ERPA.

Escenario de línea de base: se refiere al volumen de emisiones de GEI generados bajo el escenario más habitual o probable (bussines as usual) en ausencia de un proyecto. El escenario de línea de base es la referencia para demostrar cómo el desarrollo de un proyecto contribuye a la reducción de emisiones.

Estándar: sistemas que establecen las condiciones y requisitos para el desarrollo de proyectos y generación de Verificación de Emisiones Reducidas (VER) en el mercado voluntario.
Existencia de carbono: La existencia de carbono es la cantidad total de carbono orgánico almacenado en un ecosistema de carbono azul de un tamaño determinado. La existencia de carbono es la suma de uno o más sumideros de carbono.
Mangle: Un mangle es un árbol que, por lo general, mide más de medio metro de altura y que habitualmente crece por encima del nivel medio del mar en la zona intermareal de ambientes costeros marinos y en las orillas de estuarios. Un manglar es el hábitat influenciado por las mareas donde crecen estos árboles, además de arbustos, palmeras o helechos terrestres y que cumplen con las características descritas.
MDL: El Mecanismo de Desarrollo Limpio es un procedimiento contemplado en el Protocolo de Kioto (PK) en el cual países desarrollados pueden financiar proyectos de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) dentro de países en desarrollo, y recibir a cambio Certificados de Reducción de Emisiones aplicables a cumplir con su propio compromiso de reducción.
Mercado de carbono: Actualmente existen dos mercados principales para el carbono en proyectos que se realicen en los países en desarrollo. El primero es el mercado regulado, enmarcado en reglas internacionales definidas en el Protocolo de Kioto, que aún no se ha desarrollado para proyectos REDD+. El segundo es el mercado voluntario, que no se encuentra regulado e incluye una amplia variedad de relaciones comerciales y estándares voluntarios para los proyectos.
Mercado regulado o de cumplimiento de carbono: sistema de comercio en donde se compran y venden permisos de emisión o bonos de carbono generados bajo un mecanismo regulado.
Mercado Voluntario de Carbono (MVC): Los mercados voluntarios se estructuran bajo mecanismos de certificación, que garantizan que el proyecto realmente está disminuyendo emisiones; esto implica la presencia de agencias certificadoras que analizan los productos entregados por los operadores del proyecto, los cuales pueden ser ONG, privados o la misma comunidad. Cuando la certificadora aprueba el proyecto mediante la emisión de bonos de carbono, estos pueden ser comercializados en mercados internacionales a los cuales tienen acceso los compradores que están interesados en la disminución de sus emisiones. Una vez realizada la transacción de carbono el comprador habrá disminuido sus emisiones.
Mercado voluntario de carbono: sistema de comercio en donde se compran y venden permisos de emisión o bonos de carbono generados bajo una bolsa o estándar voluntario.
No-permanencia: re-emisión a la atmósfera de Gases de Efecto Invernadero (GEI), ocasionada por accidentes naturales o inducidos por la actividad humana.
Permisos de emisión: instrumento de comercialización de derechos de emisión de GEI asignados a una nación parte de algún sistema de cuotas.
REDD+: Reducción de emisiones por deforestación, la reducción de emisiones por degradación forestal, el manejo sostenible de los bosques, la conservación y el aumento de las existencias de carbono en los bosques. Para México debe entenderse como un conjunto de líneas estratégicas que promueven de manera simultánea acciones de mitigación y adaptación, a través de un manejo integral del territorio que promueva el “Desarrollo Rural Sustentable (DRS)” bajo en carbono, y por tanto, que apunte a una convergencia entre la agenda ambiental y de desarrollo.
Registro: sistema de contabilización y rastreo (origen y propiedad) de los permisos de emisión y bonos de carbono.
Sistema de cuotas: esquema de fijación de límites máximos e intercambio de permisos de emisión, en el cual una autoridad central de las cuotas de las emisiones totales de carbono que podrán realizarse en un período específico para las entidades partes del sistema.

Sumidero de carbono: Los sumideros de carbono son reservorios de carbono tales como el suelo, la vegetación, el agua y la atmósfera que absorben y liberan carbono. En conjunto, los sumideros de carbono forman una existencia de carbono.
Verificación de Emisiones Reducidas (VER): nombre que reciben los créditos de carbono de los proyectos que se desarrollan bajo el mercado voluntario.