



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO Y CAPTURA
POTENCIAL DE CARBONO EN BIOMASA AÉREA, EN EL
ÁREA NATURAL PROTEGIDA MARISMAS NACIONALES,
NAYARIT, MÉXICO”.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

ROCIO GRICEL ROJAS BRISEÑO



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JOSÉ ANTONIO BENJAMÍN ORDÓÑEZ DÍAZ.
2011**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno

Rojas
Briseño
Rocío Grisel
Tel. 22353079
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
304037061

2. Datos del tutor

Dr.
José Antonio Benjamín
Ordóñez
Díaz

3. Datos del sinodal 1

Dr.
Carlos
Gay
García

4. Datos del sinodal 2

M. en C.
Tomás
Hernández
Tejeda

5. Datos del sinodal 3

M. en C.
Manuel
Hernández
Quiroz

6. Datos del sinodal 4

Biol.
Guadalupe Araceli
Flores
Ramírez

7. Datos de la tesis

Estimación del contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea, en el área natural protegida Marismas Nacionales, Nayarit, México
57p.
2010

Dedicatoria

A mi mamá, que forjo en mí un carácter y un camino de éxito, con el mejor ejemplo de lucha, perseverancia y bondad, y me ha enseñado que en la vida no existen imposibles.

A mi hermana Elizabeth, con quien he peleado y reído tanto, que me apoya y ha estado en todos los momentos importantes de mi vida, por ser mi pequeña gran amiga. A mi sobrina, la princesa que vino a dar una nueva luz a mi vida.

A mi papá que cuidó de mí como un tesoro, por creer en mí y apoyarme en el camino que he recorrido para llegar aquí.

A mis tíos Sofía y Andrés por confiar siempre y por su generoso apoyo, a mis abuelitos Yeyo y Mina y al resto de mi familia.

A mi abuelita Elizabeth, a quien no tuve la fortuna de conocer, pero estoy segura que es en el cielo el ángel que me cuida y guía mi camino.

A Ricardo, mi compañero, cómplice y todo, a mis confis incondicionales, que han marcado mi vida, por estar a mi lado en esos buenos y malos momentos, y a los amigos de todos los tiempos que compartieron conmigo el recorrido de este pasaje.

*"No hay tanto peligro en las personas malas,
como el peligro que ocasionan las personas buenas
que cuando ven el mal, no hacen nada por detenerlo "*
Gandhi.

Agradecimientos

En primer lugar agradezco al Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz por su apoyo, dirección, amistad, cariño, y por las risas que hicieron mi trabajo tan ameno.

A la cooperación técnica alemana que la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH implementó como parte del proyecto “Iniciativa de México para la protección del clima en el corredor ecológico Sierra Madre Oriental y en las lagunas costeras Laguna Madre y Marismas Nacionales” (Cambio Climático en Áreas Naturales Protegidas) en colaboración con la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP). Y al proyecto Valoración Económica de Seis Áreas Naturales Protegidas como sumideros de CO₂: Laguna Madre, Marismas Nacionales, Zicuirán-Infernillo; Sierra de Abra Tanchipa, Xilitla y Sierra Madre Oriental

Gracias a mis sinodales: Biol. Guadalupe Araceli Flores Ramírez, M. en C. Tomás Hernández Tejeda, M. en C. Manuel Hernández Quiroz, y al Dr. Carlos Gay, por su tiempo y atención dedicados a mi trabajo y a las contribuciones que hicieron en él.

A los compañeros que contribuyeron a la colecta y procesamiento de los datos tomados en campo: M. en C. Juan Francisco Torres Origel, Biól. Guadalupe Araceli Flores Ramírez, Biól. Oscar Aguado Bautista, Vanessa Sepúlveda, Fidel Calvo, Lucila Balam, Irma Estefanía García y Biol. Zuelclady Araujo.

A Pronatura México A.C. por abrirme las puertas y por formar parte del desarrollo de este proyecto

Gracias por la participación y atención para la realización del proyecto a Víctor Hugo Vázquez Morán Director de la Región Prioritaria para la Conservación Marismas Nacionales (Nayarit)

A todos mis maestros desde la primaria y hasta la licenciatura que me impulsaron y me dieron las herramientas para llegar aquí.

INDICE

	Página
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. MARCO TEÓRICO	
1.1 Cambio climático y efecto invernadero	3
1.2 Gases de efecto invernadero	5
1.2.1 Carbono	6
1.2.2 Ciclo biológico del carbono	7
1.3 Servicios ecosistémicos	9
1.3.1 El servicio ambiental captura de carbono en la mitigación del cambio climático	10
1.4 Deterioro de los servicios ecosistémicos	13
1.5 Áreas Naturales Protegidas en México	14
II. JUSTIFICACIÓN	19
III. OBJETIVOS	
3.1 Objetivo general	20
3.2 Objetivos particulares	20
IV. ÁREA DE ESTUDIO	21
4.1 Ubicación	22
4.2 Clima	24
4.3 Hidrología	24
4.4 Geología y Edafología	26
4.5 Vegetación	26
4.6 Fauna	28

4.7 Actividades productivas	29
V. MATERIALES Y MÉTODO	30
5.1 Selección de puntos de muestreo	31
5.2 Parámetros estimados	
5.2.1 Volumen	33
5.2.2 Biomasa	34
5.3 Estimación del contenido de carbono	34
5.4 Estimación del contenido de CO _{2e}	35
5.5 Estimación de la captura potencial	35
VI. RESULTADOS	
6.1 Contenido y captura potencial de carbono y CO _{2e}	36
VII. DISCUSIÓN	42
7.1 Sugerencias y recomendaciones	49
VIII. CONCLUSIONES	50
REFERENCIAS	51
ANEXO	57

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Gases de efecto invernadero y sus características	5
Cuadro 2. Tipos de servicios ecosistémicos	9
Cuadro 3. Dióxido de carbono almacenado en ecosistemas terrestres de México	11
Cuadro 4. Categorías de manejo, objetivos y administración de las áreas naturales protegidas en México, de acuerdo a la LGEEPA	15
Cuadro 5. Número de ANP por superficie y categoría	16
Cuadro 6. Usos de Suelo y cobertura vegetal del Área Natural Protegida Marismas Nacionales	36
Cuadro 7. Valores de contenido de carbono y captura potencial de CO _{2e}	40
Cuadro 8. Valores de contenido de carbono y biomasa reportados para otros sitios semejantes	44

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. El efecto invernadero	4
Figura 2. Ciclo global del carbono para 1990, almacenes y flujos anuales en GtC por año	7
Figura 3. Liberación y fijación del carbono	11
Figura 4. Distribución de Áreas Naturales Protegidas en México 2009	16
Figura 5. Regiones Terrestres Prioritarias	17
Figura 6. Esquema de zonificación de una Reserva de la biósfera	18
Figura 7. Mapa del polígono, ubicación, delimitación y zonificación de la RBMN	23
Figura 8. Nayarit. Ubicación de las regiones hidrológicas	24
Figura 9. Nayarit. Ubicación de los principales ríos	25
Figura 10. Diseño de muestreo	30
Figura 11. Mapa de la clasificación de cobertura vegetal y uso de suelo de la Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales. Ubicación de los puntos de muestreo	32
Figura 12. Relación de la biomasa total y diámetro normal de los individuos muestreados	37
Figura 13. Contenido de biomasa, carbono y CO _{2e} por hectárea	38
Figura 14. Contenido de biomasa, carbono y CO _{2e} por tipo de cobertura vegetal	39

RESUMEN

Entre los cambios globales inducidos por el ser humano en el planeta, resalta el incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera (*e.g.*, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, hexafluoruro de azufre), mismos que modifican su composición química y termodinámica, la temperatura del aire y en conjunto los patrones climáticos del planeta, dando lugar al fenómeno conocido como: cambio climático global. Los efectos del cambio climático global son temas de relevancia para México; los escenarios de sus consecuencias en nuestro país incluyen la desaparición de bosques, pérdida de cosechas, cambios en la vegetación, desertificación y sequías, crisis de agua, inundaciones, entre los principales. Bajo este contexto una solución al problema del cambio climático es favorecer la captura de carbono (C) por un mecanismo reconocido actualmente: la fotosíntesis.

La selva mediana es la vegetación con el mayor contenido de carbono por hectárea, 120 MgC ha⁻¹ y una captura potencial de 8.8 MgCO_{2e}ha⁻¹year⁻¹, seguido del manglar con 102 MgC ha⁻¹ y potencial de 6.9 MgCO_{2e}ha⁻¹year⁻¹, la selva baja espinosa tiene un almacén de 50.61 MgC ha⁻¹ con potencial de 1 MgCO_{2e}ha⁻¹year⁻¹ y el palmar de 42.75 MgC ha⁻¹ cuya captura es 0.8 MgCO_{2e}ha⁻¹year⁻¹, mientras que ecosistemas como el pastizal y la vegetación halófilos presentaron un almacén de carbono de 9 MgC ha⁻¹ y capacidad de captura de 0.43 MgCO_{2e}ha⁻¹year⁻¹, y aquellos ecosistemas degradados como la selva baja con vegetación secundaria y el pastizal inducido mostraron 8.03 MgC ha⁻¹ y 7 MgC ha⁻¹ respectivamente, con un potencial de captura de 0.33 y 0.61 MgCO_{2e}ha⁻¹year⁻¹. Aunque el manglar ocupa el segundo lugar en contenido y captura por hectárea, es el tipo de cobertura que por su extensión contribuye más al almacén con 6,059,738.49 MgC, y captura 412,653 MgCO_{2e}ha⁻¹year⁻¹.

Las diferencias en los valores obtenidos, son resultado de las diferentes estructuras de la vegetación, de su fisionomía, de sus condiciones climáticas, topográficas y de las actividades productivas que los propietarios desarrollan en su predio y en las vecindades dentro de las clases de cobertura vegetal que conllevan a la pérdida de biomasa; así estos ecosistemas poseen la capacidad de incrementar su potencial de captura mediante prácticas de manejo adecuadas (Brown, 1999).

La conservación de estos ecosistemas no solo representa una opción para mitigar el cambio climático a través de la captura de carbono, sino que favorece la provisión de otros servicios ecosistémicos como son: protección contra inundaciones, tormentas y huracanes, protección de los mantos freáticos, dilución de contaminantes, protección de la línea de costa, recreación, y mantenimiento de la biodiversidad (Moreno *et. al.*, 2006).

ABSTRACT

Among the global changes induced by humans on the planet, highlights the increase of greenhouse gases in the atmosphere (*e.g.*, carbon dioxide, methane, nitrous oxide, chlorofluorocarbons, halocarbons, perfluorocarbons), which modify their chemical composition and thermodynamics, air temperature and overall weather patterns in the world, giving rise to the phenomenon known as global climate change. The effects of global climate change are topics relevant to México, the scenarios of its impact in our country include the disappearance of forests, loss of crops, vegetation change, desertification and droughts, water crisis, floods, the main. In this context a solution to the problem of climate change is to facilitate the capture of carbon (C) by a mechanism recognized today: photosynthesis

Tropical medium forest has the highest content of carbon per hectare (120 MgC ha^{-1}) with a sequestration potential of $8.8 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{year}^{-1}$, followed by mangrove with an stock of 102 MgC ha^{-1} and $6.9 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{year}^{-1}$, tropical low forest has $50.61 \text{ MgC ha}^{-1}$ with potential capture of $1 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{year}^{-1}$ and palmgrove with $42.75 \text{ MgC ha}^{-1}$ wich capture is $0.8 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{year}^{-1}$, while ecosystems such as grasslands ecosystems and halophytic vegetation and had a storage of 9 MgC ha^{-1} with catch capacity of $0.43 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{year}^{-1}$, finally degraded ecosystems like tropical low forest with secondary vegetation and induced grassland vegetation showed 3.8 MgC ha^{-1} and 7 MgC ha^{-1} respectively, with a potential capture of 0.33 and $0.61 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{year}^{-1}$. Although the mangrove is the second in storage and capture per hectare, is the kind of coverage that for his extension contribuites provides the most stock with $6,059,738.49 \text{ MgC}$ and capture $412, 653 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{year}^{-1}$.

Differences in values obtained are the result of the different vegetation structures, its physiognomy, climatic conditions, topography and productive activities that have place within the classes of vegetation, leading to loss of biomass; so these ecosystems have the capacity to increase their catching power by appropriate management practices (Brown, 1999).

Conservation of these ecosystems is not only an option for mitigating climate change through carbon sequestration, but favors the provision of other ecosystem services such as: protection against floods, storms and hurricanes, protecting groundwater, dilution of pollutants, coastline protection, recreation, and maintenance of biodiversity (Moreno *et al.*, 2006).

I. MARCO TEORICO

1.1 CAMBIO CLIMATICO Y EFECTO INVERNADERO

Nuestro planeta está rodeado por una delgada capa de gases denominada atmósfera que alcanza una altura de casi 1,000 km, compuesta por nitrógeno (78.3%), oxígeno (21.0%), argón (0.9%), bióxido de carbono (0.036%) y otros gases en concentraciones menores como helio, neón y xenón. Contiene además partículas en cantidades variables, y vapor de agua en concentraciones fluctuantes (Camilloni y Vera, 2008).

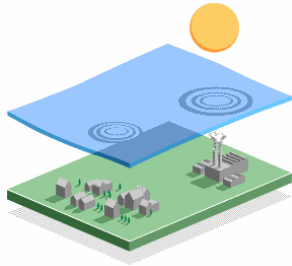
El clima de la Tierra está dado por el balance en la entrada y salida de energía en forma de radiación solar (equilibrio radioactivo), de su actividad radiactiva y de la abundancia de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, nubes y aerosoles (IPCC, 1990); el 19% de la energía es absorbida por la atmósfera (depleción), 51% por la superficie de la tierra (insolación) y el 30% restante es reflejada al espacio exterior (Magaña, 1994).

A su paso por la Tierra, la humanidad ha inducido modificaciones conocidas como cambio global, que afectan los componentes biofísicos (agua, aire, suelos, biodiversidad), el comportamiento de los ecosistemas y generan efectos en los sistemas socioeconómicos; entre las consecuencias más importantes de este cambio está el cambio en las concentraciones de algunos compuestos en la atmósfera, que han alterado la termodinámica del planeta (Duarte *et. al.*, 2006); estos gases llamados de efecto de invernadero (GEI) tienen la capacidad de aumentar la temperatura del aire y modificar los patrones climáticos globales (Wang *et. al.*, 1976).

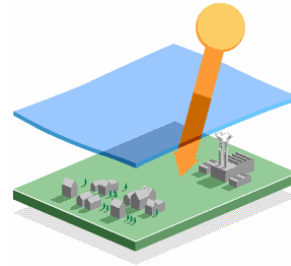
El cambio climático global, se define como las modificaciones termodinámicas que ocurren en la atmósfera a escala global, como consecuencia del incremento de las concentraciones de GEI, provocando el calentamiento del planeta (IPCC, 2007). Este cambio se halla atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas, y a la variabilidad natural del clima (Duarte *et. al.*, 2006). El cambio climático global, representa actualmente el problema ambiental más grave, y es derivado en buena medida de diversas fuentes antropogénicas, entre las que el IPCC (2007) destaca: la generación de energía, los procesos industriales, la agricultura y el cambio de uso de suelo, la generación de desechos, los combustibles del transporte internacional aéreo y marítimo, y las emisiones de CO₂ por quema de biomasa; que dan lugar a acentuación del efecto invernadero.

En efecto invernadero (Figura 1) se debe a que algunos gases atmosféricos en particular permiten que la mayor parte de la radiación solar incidente penetre a través de la atmósfera, una parte de esa radiación es absorbida por la superficie terrestre propiciando

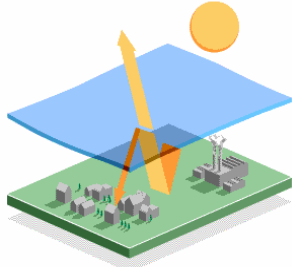
que se caliente y otra es reflejada hacia espacio exterior; cuanto mayor es la concentración de los gases de invernadero en la atmósfera, menor es la cantidad de radiación infrarroja que el planeta re-emite libremente al espacio exterior; de esta manera, al aumentar la concentración de gases de invernadero, se incrementa la cantidad de calor atrapado en la atmósfera, dando origen a que se eleve anormalmente la temperatura superficial del planeta (IPCC, 1990; Masera, 2006).



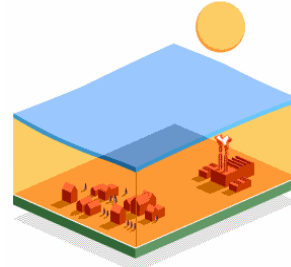
1. El vapor de agua, el CO₂, el CH₄ y otros gases forman una capa natural en la atmósfera terrestre que retiene parte de la energía proveniente del Sol. El uso de combustibles fósiles y la deforestación ha provocado el aumento de las concentraciones de estos gases, y otros como el óxido nitroso, que incrementan el efecto invernadero.



2. La superficie de la Tierra es calentada por el Sol. Pero ésta no absorbe toda la energía que de él proviene, sino que, refleja parte de ella de vuelta hacia la atmósfera.



3. Alrededor del 70% de la energía solar que llega a la superficie de la Tierra, es absorbida y el 30% restante, es reflejado por la tierra hacia la atmósfera. Pero parte de la radiación infrarroja es retenida por los gases que producen el efecto invernadero y vuelve a la superficie terrestre.



4. Como resultado del efecto invernadero, la Tierra se mantiene lo suficientemente caliente como para permitir la vida sobre el planeta. De no existir el fenómeno, las fluctuaciones climáticas serían intolerables. Sin embargo, una pequeña variación en el delicado balance de la temperatura global puede acentuar fenómenos naturales como: huracanes, tornados, inundaciones, deslaves, etc.

Figura 1. Efecto invernadero (BBC, 2010).

Según las proyecciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático¹ (IPCC, 2001), a medida que el CO₂ continúe aumentando en la atmósfera, la modificación de la

¹ Es el cuerpo líder para la evaluación del cambio climático. Fue creado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1988. Su

temperatura podría resultar en un incremento entre 1.5 a 3.5°C, lo que traería perturbaciones de tipo, biológico, social y económico.

Estos factores afectan directamente al hombre y a aquellas actividades económicas que tienen una relación directa o indirecta con el estado del tiempo. De la misma forma las alteraciones climáticas y ambientales (e.g., aumento del nivel de mar, incremento e intensidad de tormentas, entre las principales), traerían consigo una crisis social y conflictos políticos (IPCC, 2007).

1.2 GASES DE EFECTO INVERNADERO

Los gases que incrementan el efecto invernadero y que son reconocidos por el Protocolo de Kioto son el bióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los derivados fluorados del metano y etano (HFC), los perfluorocarburos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆) (ONU, 1998).

Estos gases provienen de diversas fuentes que pueden ser naturales o antropogénicas, en el cuadro 1 (modificado y actualizado para este estudio), se proporciona información sobre los principales GEI, la fuente antropogénica que los genera, la concentración al 2005 estimada en el planeta, la concentración que alcanzó en la era preindustrial, el tiempo de permanencia (residencia) en la atmósfera² y su potencial de calentamiento (IPCC, 1990).

Cuadro 1. Gases de efecto invernadero y sus características (modificado y actualizado IPCC, 1990).

	Gas	Fuentes	Concentración		Tiempo de residencia en la atmósfera (años)	Potencial de calentamiento
			Preindustrial (1750)	Actual		
Gases de origen natural	Dióxido de carbono (CO ₂)	Uso de combustibles fósiles y leña, deforestación, reacciones químicas en procesos de manufactura	288 ppm	379 ppm (año 2005)	50 - 200	1
	Metano (CH ₄)	Cultivo de arroz, ganado, tiraderos de basura, uso de	0.715ppm	1.774 ppm (año	12	21

objetivo principal es proporcionar una visión científica clara de todos los aspectos del cambio climático, incluidos su potencial ambiental y sus consecuencias socioeconómicas (IPCC, 2010).

² Tasa de eliminación del gas en la atmósfera, varía dependiendo de la concentración del gas, su reactividad u otras propiedades atmosféricas. Un prolongado tiempo de residencia compromete casi irreversiblemente el equilibrio radiativo a través de decenios, siglos o milenios, antes de que los procesos naturales puedan eliminar las cantidades emitidas (IPCC, 2001).

Gases antropogénicos		combustibles fósiles, escape de gas en minas y pozos petroleros.		2005)		
	Óxido nitroso (N ₂ O)	Producción y uso de fertilizantes nitrogenados deforestación, uso de leña	270 ppm	319 ppm (año 2005)	120 – 150	310
	Hidrofluoro - carbonos (HFCs)	procesos de manufactura y usados como refrigerantes	ND	0.014 ppm (año 1998)	45 a 260	140 – 11,700
	Perfluoro - carburos (PFCs)	Emitidos en procesos de manufactura y usados como refrigerantes.	0.04ppm	0.08 ppm (año 1998)	>50,000	6,500 – 9,200
	Hexafluoruro de Azufre (SF ₆)	Emitido en procesos de manufactura donde se usa como fluido dieléctrico.	ND	0.0042 ppm (año 1998)	3, 200	23,900

*1ppm = 1mg/L. Por paridad se usan las unidades ppm, empleadas por el IPCC

Desde la revolución industrial, la concentración de GEI se ha incrementado rápidamente; el dióxido de carbono (CO₂) es el gas más importante y su concentración en 1990, resultó 25% mayor que en la etapa preindustrial (antes de 1750), cuyo valor era de alrededor de 280 ppm, y aún por encima, de cualquier periodo durante los últimos 250 años (IPCC, 1990; Smith *et. al.*, 1993).

Muchos de estos gases tienen tiempos de vida (residencia atmosférica) que van desde décadas hasta centenares de años, por lo que los cambios en las concentraciones de la atmósfera se manifiestan lentamente como respuesta a los que se dan en las tasas de emisión (IPCC, 1990).

1.2.1 CARBONO

El carbono es el cuarto elemento de mayor abundancia en el universo y es esencial para la vida que se desarrolla en nuestro planeta. El carbono colabora en la definición propia de la vida ya que su presencia o ausencia permite ayudar a definir si una molécula es considerada orgánica o inorgánica (Harrison, 2003); todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, que se obtienen como resultado de procesos metabólicos realizados durante su desarrollo, y que son liberados cuando mueren; se estima que aproximadamente el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento (Schimel, 1995).

El carbono se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza: en el agua en forma de carbonatos disueltos; en el aire como dióxido de carbono ó anhídrido carbónico (CO₂) que es un componente importante de la atmósfera y la principal fuente de carbono que se incorpora a la materia viva (IPCC, 1990); y en la tierra formando parte de las rocas calizas (Harrison, 2003), aunque sólo constituye un 0.025% de la corteza terrestre (educalpus.org, 2010).

1.2.2 CICLO BIOLÓGICO DEL CARBONO

Para comprender la dinámica de acumulación e intercambio de GEI entre los componentes del sistema planetario como la atmósfera, la biosfera, la litosfera, la hidrosfera y la edafósfera, es indispensable comprender el funcionamiento del ciclo global del carbono identificando sus fuentes, flujos y almacenes (Ordóñez, 2008) algunos de ellos representados en la Figura 2.

El ciclo del carbono se basa en una serie de fuentes y sumideros de almacenamiento de C y los procesos (naturales y antrópicos) por los cuales varias de éstas intercambian C (las flechas y los números en la Figura 2, señalan las fuentes y sumideros) (IPCC, 1990; Smith *et. al.*, 1993). Si la cantidad de carbono que se emite de una fuente es mayor de la que se captura, el proceso es considerado como un emisor neto de C; pero si por el contrario la cantidad de carbono que se emite es menor de la que se almacena, entonces se considera un sumidero neto de C (Harrison, 2003).

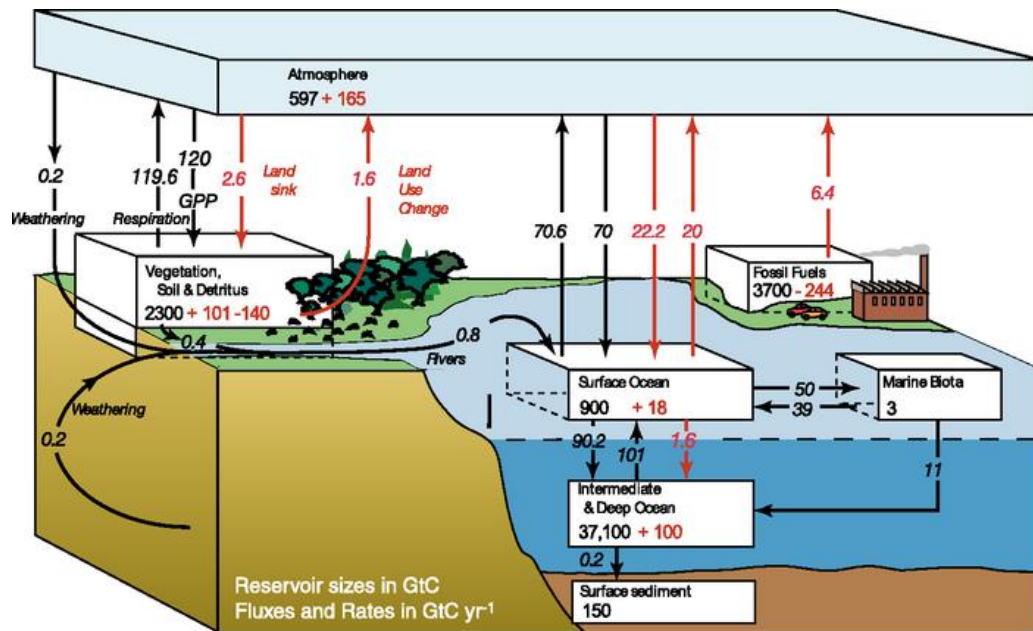


Figura 2. Ciclo global del carbono para 1990, almacenes y flujos anuales en GtC/año. Las flechas negras indican el flujo preindustrial y las rojas el flujo antropogénico (IPCC, 2007).

El carbono atmosférico se encuentra asociado al oxígeno formando CO_2 (como producto de la respiración y/o de algún proceso de combustión), el cual es incorporado a través de los estomas de las hojas al interior de las plantas, por medio del proceso de fotosíntesis, mediante la cual, los árboles toman CO_2 del aire, lo combinan con hidrógeno que obtienen del agua utilizando la energía almacenada en los cloroplastos y, a partir de estos, se sintetizan los carbohidratos básicos que, al incorporarse con otros elementos minerales del suelo, pueden ser utilizados para aumentar el tamaño de los órganos vegetales (follaje, ramas, raíces y tronco o tallo), satisfacer las necesidades reproductivas (Harold, 1984 en Fragoso, 2003) y suministrar energía al organismo al mismo tiempo que liberan oxígeno (Smith *et. al.*, 1993). Una parte del carbono fijado es transformado en biomasa, otra parte es liberada a la atmósfera por medio de la respiración a través de las hojas o raíces, y una última parte es consumida por los animales que también liberan CO_2 de su respiración (Smith *et. al.*, 1993; Harrison, 2003).

Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo, por lo que la materia orgánica del suelo se forma de los residuos en diferentes grados de descomposición, aunque este carbono no se acumula indefinidamente, sino que se libera cuando la materia orgánica es completamente descompuesta, este proceso provee nutrientes que pueden ser captados por las plantas; pero también produce anhídrido carbónico que regresa a la atmósfera (Smith *et. al.*, 1993; Schimel, 1995). Esta parte biológica del ciclo se efectúa en menos de un año para los procesos de respiración – fotosíntesis y hasta decenas de años para los de descomposición de la materia orgánica (Maser, 2006).

La fijación de carbono por acción de las bacterias, es otra manera de capturar el CO_2 de la atmósfera, aunque cuantitativamente menos importante que la fijación por plantas. En ocasiones cuando los organismos vegetales son comprimidos por deposición, no son atacados por descomponedores, y se favorece que transcurran una serie de cambios químicos para formar turba, después lignita y finalmente carbono. Los cuerpos de algunos organismos marinos pueden tener cambios semejantes si existen las condiciones geológicas de temperatura y presión y formar a largo plazo depósitos de petróleo (en INE, 2007).

En el océano, algunos organismos del fitoplancton y los corales usan carbono para producir exoesqueletos de carbonato de calcio (CaCO_3), que al morir el organismo se sedimentan en el fondo del océano, formando lodos que pueden comprimirse a medida que pasa el tiempo y eventualmente transformarse en roca caliza (Harrison, 2003).

Otra parte del ciclo del carbono consiste en el flujo de CO_2 entre la atmósfera y el océano, que por acción de la diferencia de las concentraciones, tiende al equilibrio del gas en

estos dos compartimientos. En este caso, el intercambio neto es de aproximadamente dos GtonC por año hacia el océano, que actúa como un gran sumidero (IPCC, 1990; Masera, 2006).

Así mismo existe una aportación enteramente antropogénica resultante de la quema de combustibles fósiles y otras actividades, cuyo principal producto es CO₂ y representa un flujo neto hacia la atmósfera de 6.4 GtonC al año, con un crecimiento anual del 1.5%. (Masera, 2006).

1.3 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Los servicios ecosistémicos se definen como un conjunto de condiciones y procesos naturales cuya existencia, brinda beneficios a la sociedad, que los aprovecha de diferentes formas y que les permiten cubrir sus necesidades básicas para subsistir (Daily *et al.*, 1997).

Estos servicios son generados por un complejo número de ciclos que operan a diferentes escalas (Torres *et al.*, 2010) y se pueden encontrar diferentes clasificaciones, de acuerdo con Daily *et al.* (1997) pueden clasificarse en 4 grandes categorías que se muestra en el Cuadro 2, reconocidas y aceptadas por el PNUMA (2005):

Cuadro 2. Tipos de servicios ecosistémicos (PNUMA, 2005; Torres *et al.*, 2010).

Tipo de Servicio	Descripción	Servicio
Soporte	Aquellos que contribuyen a la autorregulación y mantenimiento del resto de los servicios. Algunos de estos procesos pueden llevarse a cabo en escalas de tiempo muy amplias	formación de suelo, ciclos de nutrientes
Provisión	Son brindados de manera directa por los ecosistemas.	Alimentos, fibras, recursos genéticos, fármacos, agua
Regulación	Aquellos que modulan o mantienen los procesos del ecosistema	Calidad del aire, regulación del clima, control de erosión, purificación y captura del agua, control biológico, polinización
Culturales	Beneficios no materiales que permiten una conexión espiritual, desarrollo cognitivo, reflexión, recreación, y disfrute de la belleza escénica	Diversidad cultural, tradiciones religiosas y culturales, recreación y ecoturismo

El valor de los servicios ecosistémicos en la Tierra, es generado y apreciado en la medida en que estos disminuyen o se pierden, así por ejemplo la deforestación ha revelado el papel fundamental que juegan los bosques en el ciclo del agua, que se ve reflejado en la escases del líquido, la magnitud de las inundaciones, la fuerza de los vientos y la erosión causada por las lluvias (Daily *et al.*, 1997); la degradación de los ecosistemas consecuencia de la necesidad de crecimiento de zonas urbanas, cambio de uso de suelo para generar espacios destinados a la ganadería, agricultura, la contaminación del suelo, agua, aire y los procesos industriales, son parte de la problemática actual de los servicios ecosistémicos (Pearce, 1998).

1.3.1 EL SERVICIO AMBIENTAL CAPTURA DE CARBONO, EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

El concepto de captura de carbono integra la idea de conservar los contenidos de este elemento que se encuentran en suelos, bosques y sitios donde es inminente la pérdida de vegetación, así como el aumento de los sumideros de carbono a través del establecimiento de áreas en las que la vegetación es usada como reservorio (Tipper 2000 citado por Torres y Guevara, 2002).

La evaluación de los recursos forestales mundiales (FRA por sus siglas en inglés) de la FAO para el año 2010 estima que la superficie forestal en la Tierra se encuentra alrededor de los 4 mil millones de hectáreas, que corresponden al 31% de la superficie total de nuestro planeta; de las cuales sólo cerca del 13% se encuentran bajo protección y menos del 10% cuentan con algún tipo de manejo (Dixon *et. al.*, 1994).

Dixon *et. al.*, (1994) afirman que casi el 37% de carbono se encuentra en latitudes bajas (de 0° a 25° de latitud), 14% en las medias (de 25° a 50° de latitud) y 49% en las altas (de 50° a 75° de latitud), es por esto que es posible decir que la proporción de carbono capturado por la vegetación y suelo difiere también en cuanto a su ubicación geográfica respecto de su latitud.

Ordóñez y Masera (2001) explican que durante el tiempo en que el C se encuentra constituyendo alguna estructura de la biomasa de un árbol (follaje, ramas, raíces y fuste) (Figura 3) y hasta que es enviado al suelo o a la atmósfera, se considera almacenado, aunque es necesario resaltar que Dixon (1994) y sus colaboradores señalan que más del 60% del carbono contenido en ecosistemas forestales se encuentra contenido en el suelo.

En los ecosistemas forestales boreales, templados y tropicales, la biomasa almacena cerca de dos terceras partes del C del planeta, en un ciclo de captura y emisión a través de la fotosíntesis, la respiración y la descomposición respectivamente (Smith *et. al.*, 1993).

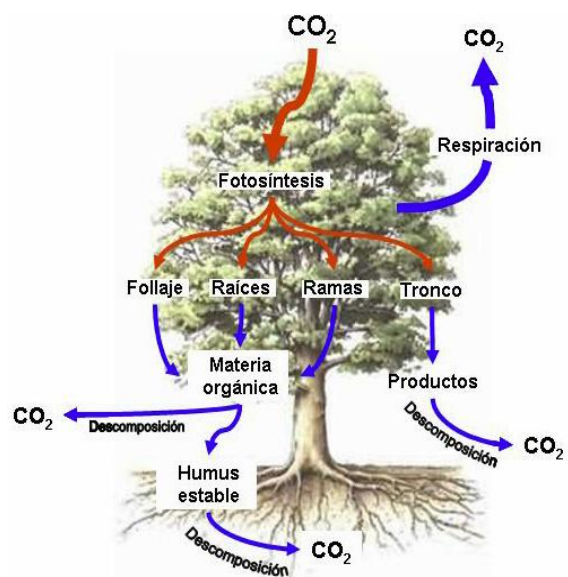


Figura 3. Liberación y fijación de carbono (Ordóñez, 2008).

Así, los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo (Montoya *et. al.*, 1995). La FAO (2010) calcula que los bosques del mundo almacenan aproximadamente 289 gigatoneladas (Gt) de carbono solo en su biomasa, de las cuales Vega (2008) estima que México posee en sus ecosistemas 21,683,164,046 MgCO_{2e} (Cuadro 3).

Cuadro 3. Dióxido de carbono almacenado en ecosistemas terrestres de México (Vega, 2008)

Estimación de CO_{2e} almacenado				
Ecosistema	Total de hectáreas	%	Estimación del MgCO_{2e} almacenado	%
Bosque de coníferas	16,781,749	12.2	4,312,909,493	19.9
Bosque de <i>Quercus</i>	15,548,762	11.3	3,669,507,832	16.9
Bosque tropical perennifolio	9,465,901	6.9	2,887,099,805	13.3
Bosque tropical caducifolio subcaducifolio y espinoso	23,470,314	17.1	3,614,428,356	16.7
Bosque mesófilo de montaña	1,825,204	1.3	784,837,720	3.6
Matorral xerófilo y vegetación semiárida	52,879,694	38.4	4,230,375,520	19.5
Pastizal natural, y gipsófilo	14,954,590	10.9	1,450,595,230	6.7
Vegetación acuática y subacuática	2,600,745	1.9	733,410,090	3.4
Total	137,526,959	100.0	21,683,164,046	100.0

Actualmente, estos ecosistemas están siendo amenazados por el cambio de uso de suelo, la deforestación y la quema de combustibles fósiles, siendo las principales causas a nivel mundial, de la liberación de CO₂ a la atmósfera (Montoya *et. al.*, 1995).

Brown y el IPCC (1999, 2007) estiman que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación en el mundo, los bosques podrían resultar en un sumidero neto de carbono durante los próximos cien años, permitiendo reducir de 20 a 50% las emisiones de CO₂ a la atmósfera como acción de mitigación al cambio climático.

Con la problemática actual, es conveniente decir que la reducción bruta de emisiones de CO₂ no resuelve el problema de los gases de efecto invernadero, porque no reduce la concentración de CO₂ que ya está en la atmósfera y con el progreso de la tecnología resulta cada vez menos posible desarrollar actividades productivas sin emisiones brutas (Ordóñez, 2008).

Desde hace algún tiempo los representantes de gobiernos y científicos de todo el mundo a través de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático plantean que se logre la estabilización de los GEI en la atmósfera a niveles que no representen un peligro para el ser humano, en un periodo suficiente que permita a los ecosistemas readaptarse de manera natural y en el que las actividades relacionadas al desarrollo económico y a la producción de alimentos continúen de forma sustentable, sin afectar al sistema climático. Si bien México se encuentra incluido entre los países del No Anexo I³ del Protocolo de Kioto, la efectiva reducción de GEI requiere de la participación de todos los países conforme a su nivel de desarrollo económico y compromiso ante el cambio climático (ONU, 1998; IPCC, 2005).

Bajo este contexto las soluciones al problema del cambio climático consideran: la reducción en la demanda de energía, incrementar el uso de energías renovables, la reducción de emisiones de GEI industriales y domésticos, y favorecer el secuestro de C orgánico en reservorios naturales a través de la fijación biológica por un mecanismo reconocido actualmente que es parte fundamental en el ciclo del carbono, la fotosíntesis (IPCC, 2005).

Estudios que permitan, estimar las densidades de carbono asociadas a las distintas clases de vegetación, y el desarrollo de métodos de cuantificación y predicción sobre el comportamiento de los procesos de emisión y captura de carbono bajo diferentes dinámicas de cambio de uso del suelo, permite ofrecer opciones de mitigación de GEI en el corto, mediano y largo plazo (Ordóñez, 2008).

³ Integra los países cuyas economías están en desarrollo, y que no se hallan obligados a reducir o a contabilizar sus emisiones de GEI (ONU, 1998).

Así los beneficios pueden verse reflejados en aspectos como: el aumento de la calidad de vida, actuar en favor de la mitigación del cambio climático, y ampliar oportunidades de negocios para el crecimiento y el desarrollo (Galindo, 2009).

1.4 DETERIORO DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

En los últimos siglos, la influencia humana sobre la naturaleza ha tenido el impacto suficiente para modificar la superficie del planeta, la FAO (1995) considera que al menos el 50% de la superficie terrestre ha sido modificada como resultado de la remoción o transformación de las comunidades vegetales naturales, ocasionando una reducción importante de la diversidad biológica (Lee *et. al.*, 1995).

La FAO define a la deforestación como: “la conversión de bosques a otro uso de la tierra, o la reducción a largo plazo de la cubierta forestal por debajo del 10%”. Sin embargo esta definición no considera individuos removidos o que el bosque ha sido deteriorado sin llegar a presentar menos del 10% de su cobertura original; la deforestación en un sentido más amplio, conlleva a la pérdida de los bosques para dar lugar al establecimiento de usos de suelo diferentes, contribuyendo a la modificación del entorno y con ello a la emisión de GEI, ya sea para desarrollar actividades agrosilvopastoriles o para establecer asentamientos humanos que eventualmente también originan otros problemas ambientales (<http://www.wwf.org.mx>).

En el mundo las existencias de carbono almacenado en biomasa forestal se redujeron en una cantidad estimada de 0.5 Gt de C por año en el periodo 2005 al 2010, principalmente debido a la reducción del área mundial de bosque. La disminución de bosque para el período de 2000-2010 se estimó en –5.2 millones de hectáreas por año, inferior al nivel de –8.3 millones de hectáreas por año en el período de 1990–2000 (FAO, 2010).

Estos procesos conllevan a la pérdida drástica y en algunos casos irreversible, de los bosques y con ellos los servicios que ofrecen a las sociedades y el bagaje genético que albergan (Ordóñez, 2008).

La inquietud por los problemas ambientales que se presentan actualmente ha llegado a ser de importancia mundial, hemos entrado en un periodo de consecuencias reales, a las que nos enfrentamos y cuya necesidad de resolución se hace cada vez más apremiante; la contaminación del aire, agua y tierra, la erosión, el uso excesivo de combustibles fósiles, los incendios forestales y la deforestación, cada una a su manera, afectan a todos los ecosistemas, particularmente los forestales, acentuando procesos como el cambio climático global (Ordóñez, 2008).

La evidencia del deterioro ambiental, incluyendo los impactos climáticos, en México sugiere la necesidad, entre otras cosas, de aplicar una política pública que contribuya, de manera decisiva a revertir esta tendencia (Galindo, 2009).

1.5 AREAS NATURALES PROTEGIDAS EN MEXICO

El mantenimiento y desarrollo de hábitats en estado natural o seminatural, requiere que algunas áreas sean mantenidas sin intervención humana y depende del manejo adecuado de áreas ya transformadas (Ordóñez y Flores, 1995).

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son formas de conservación *in situ*, constituidas por porciones terrestres o acuáticas de nuestro planeta, donde el ambiente original no ha sido esencialmente alterado y que producen beneficios ecológicos cada vez más reconocidos y valorados, sujetas además a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo (CONANP, 2010).

Estas áreas juegan un papel fundamental en la preservación de la riqueza natural de cada país por lo que deben ser efectivamente representativos de los ecosistemas y de la biodiversidad existente (De la Maza, *et al.*, 2003); y aunque pueden ser consideradas como tierras ociosas por no estar destinadas a un uso (agrícola, pecuario, silvícola, industrial, o de asentamientos urbanos), son una modalidad de uso de suelo indispensable para promover el bienestar y progreso del país, a través del mejoramiento de la calidad ambiental que influye favorablemente en la calidad de vida (Ordóñez y Flores, 1995).

En México la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) en su artículo 45 menciona que las ANP tienen el propósito de “salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres, particularmente las endémicas amenazadas o en peligro de extinción”, aunque cada ANP presenta funciones específicas y objetivos de preservación biológica, de acuerdo con la categoría que le es asignada y su relación con el hombre (Ordóñez y Flores, 1995). Así el artículo 46 de la LGEEPA (2010) establece 9 categorías de manejo que son: 1) reserva de la biosfera, 2) parques nacionales, 3) monumentos naturales, 4) áreas de protección de recursos naturales, 5) áreas de protección de flora y fauna, 6) Santuarios, 7) parques y reservas estatales, 8) zonas de preservación ecológica de los centros de población y 9) áreas destinadas voluntariamente a la conservación (Cuadro 4).

Cuadro 4. Categorías de manejo, objetivos y administración de las áreas naturales protegidas en México, de acuerdo a la LGEEPA (LGEEPA, 2010)

Categoría	Objetivos	Administración
Reserva de la biósfera	Conservar áreas biogeográficas relevantes, representativas de uno o más ecosistemas no alterados o que requieran ser preservadas y restauradas, en los que habiten especies representativas de la biodiversidad nacional, incluyendo a especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción.	SINAP
Parques Nacionales	Conservar áreas biogeográficas representativas a nivel nacional, de uno o más ecosistemas, importantes por su belleza escénica, valor científico, educativo, histórico o recreativo, por la existencia de flora y fauna de importancia nacional y por su aptitud al turismo.	SINAP
Monumentos naturales	Conservar áreas que contengan uno o varios elementos de importancia nacional, de carácter único o excepcional, interés estético, valor histórico o científico.	SINAP
Área de protección de Recursos Naturales	Conservar áreas destinadas a la preservación y restauración de zonas forestales y a la conservación de suelos y aguas.	SINAP
Área de protección de flora y fauna	Conservar hábitats de cuyo equilibrio y preservación dependen la existencia, transformación y desarrollo de especies de flora y fauna silvestre y acuáticas.	SINAP
Santuarios	Preservar y proteger zonas caracterizadas por una considerable riqueza de flora y fauna, o por la presencia de especies, subespecies o hábitat de distribución restringida.	SINAP
Parques y reservas estatales	Conservar áreas de uso público para obtener y preservar el equilibrio de los ecosistemas urbanos industriales, y proteger un ambiente sano, el esparcimiento de la población y valores artísticos, históricos y de belleza natural.	Entidades federativas y municipios
Zona de Preservación Ecológica de los Centros de Población	Conservar uno o más ecosistemas, cercanos a asentamientos urbanos, en buen estado de conservación, para preservar los elementos naturales indispensables para el equilibrio ecológico y el bienestar general.	Entidades federativas y municipios

En México, para el 2007 se contaban 158 ANP (Vega, 2008) y de acuerdo a la CONANP (2010), al 2010 se tenían 174 (Cuadro 4) de estas áreas, que ocupaban el 12.9% de la superficie nacional, de las cuales aproximadamente el 79.9% corresponden a zonas terrestres y 20.1% a zonas marinas. El cuadro 5 muestra el número de áreas decretadas por categoría de manejo y la superficie aproximada que ocupan en el país, mientras que la Figura 5 muestra la distribución de estas áreas en el país hacia el 2009.

Cuadro 5. Número de ANP en México por superficie y categoría (CONANP, 2010)

Categoría	Número de ANP	Superficie aprox. (ha)
Reserva de la biosfera	41	12,652,787
Área de Protección de Flora y Fauna	35	6,646,942
Área de Protección de Recursos Naturales	8	4,440,078
Parque Nacional	67	1,482,489
Monumento Natural	5	16,268
Santuario	18	146,254
Total	174	25,384,818



Figura 4. Distribución de Áreas Naturales Protegidas en México 2009 (SEMARNAT, 2009)

Los esfuerzos de México referentes a la conservación de su biodiversidad son aún insuficientes bajo el contexto actual que exige la necesidad de proveer bienes y servicios a su creciente población. En este sentido el establecimiento y manejo de las ANP constituye la estrategia más importante para la conservación integral del patrimonio biológico de México y de los servicios ecosistémicos que presta a su población (Bezaury, 2009).

De acuerdo con De la Maza *et al.* (2003) la CONABIO ha revelado que México, cuenta con 155 regiones prioritarias para la conservación (Figura 5) de las cuales sólo 41 son incluidas como ANP establecidas bajo alguna categoría de manejo.



Figura 5. Regiones Terrestres Prioritarias (SEMARNAT, 2007)

Las ANP son subdivididas en 3 zonas principales que ayudan a identificar y delimitar las porciones del territorio que la conformarán y las actividades que se pueden realizar: las zonas núcleo, cuyo objetivo es la protección de los ecosistemas y donde se prohíben las actividades de aprovechamiento; las zonas de amortiguamiento, áreas más degradadas con necesidad de protección y restauración, en las cuales se permiten actividades de bajo impacto y aprovechamiento sustentable (Carrillo y Mota, 2008); y por último, las zonas de transición en las cuales se pueden ubicar asentamientos humanos donde, se practican actividades agrícolas y, otras formas de explotación de los recursos naturales (modificado de UNESCO, 2010), todas ellas se muestran en la Figura 7.

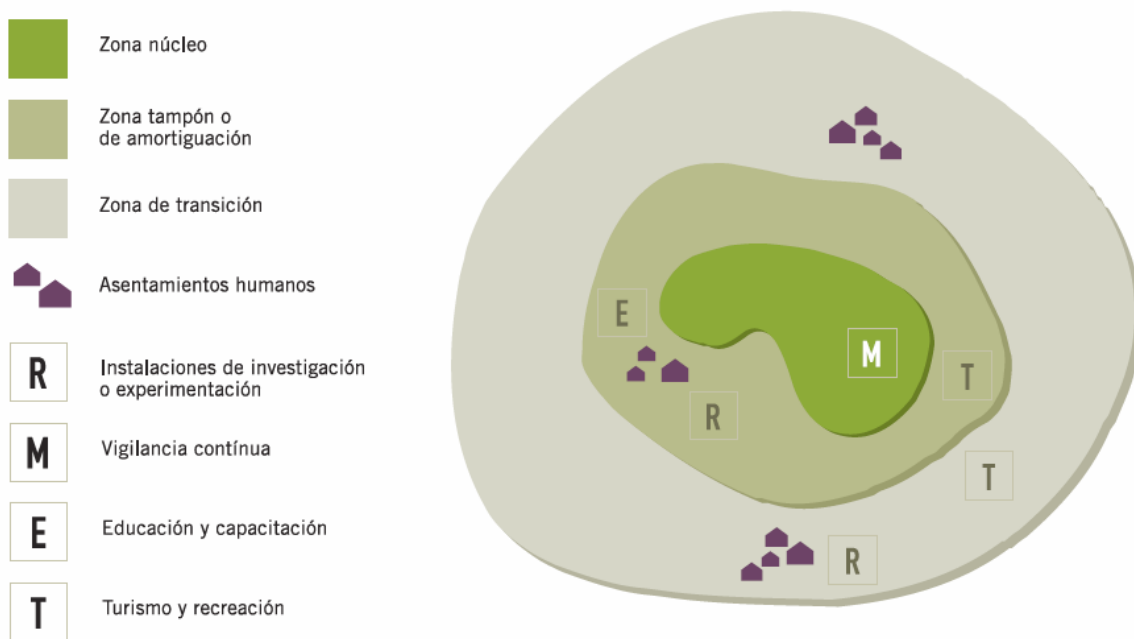


Figura 6. Esquema de zonificación de una Reserva de la Biosfera (UNESCO, 2010)

Cuando la tierra es propiedad social, comunitaria o privada y no del Estado, pueden generarse desacuerdos entre los diferentes actores, ubicándose las posiciones entre quienes tengan por objetivo la conservación y quienes requieren o pretenden su uso; en ello radica la importancia de contar con alternativas económicas y beneficios para los habitantes locales y convertir a las áreas naturales en oportunidades para el desarrollo regional sustentable (De la Maza, *et al.*, 2003). Bezaury (2009) menciona que el 80% de la superficie de las ANP mexicanas corresponden a zonas de usos múltiples, dentro de las cuales el desarrollo de actividades económicas es limitado gracias al establecimiento de restricciones sujetas al uso sustentable de los recursos naturales.

En este sentido, conocer el valor económico potencial de las ANP federales de México como sumideros de carbono, ayuda al fortalecimiento de la estrategia de conservación ecológica nacional, a identificar e inducir oportunidades de proyectos de manejo sustentable para diversos ecosistemas terrestres que, también, pueden establecerse dentro de los polígonos de las ANP (Vega, 2008).

Esto significa que las ANP no están aisladas de la economía nacional, sino que su aprovechamiento se ejerce dentro de los términos que impone la necesidad de conservar su condición natural (Bezaury, 2009).

II. JUSTIFICACIÓN

La Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales incluye al manglar más extenso del Pacífico mexicano, ocupando el 2.83% de los 4.8 millones de hectáreas destinados a la conservación de zonas marinas en el territorio del país, que en conjunto capturan 1.9% del carbono almacenado en los ecosistemas de México (CONANP, 2010). Es decir, estas áreas a pesar de estar representadas en poca superficie, capturan de manera más eficiente el CO₂ en comparación con otros tipos de cobertura más extensos (Vega, 2008).

En adición Moreno *et. al.*, (2006) menciona que los ecosistemas costeros, incluidos manglares, selvas, playas y dunas proveen servicios únicos como: protección contra inundaciones, tormentas y huracanes, protección de los mantos freáticos, dilución de contaminantes, protección de la línea de costa, recreación, y mantenimiento de la biodiversidad.

Algunos autores (Brevik y Jeffrey, 2004; Lema y Polanía, 2006; Moreno, 2010; Valdés, 2010) coinciden en que existen pocos estudios sobre el almacenamiento de carbono en ecosistemas costeros, particularmente los estudios sobre este tema en México son escasos y están limitados a inventarios dispersos en algunas regiones. En este sentido, el presente trabajo contribuye a resaltar la importancia de la Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales, como almacén y sumidero de carbono, ya que por su distribución restringida en el territorio nacional, se exalta la necesidad de conservar y/o ampliar las áreas destinadas a este tipo de ecosistemas y con ello contribuir en las acciones de mitigación del cambio climático global y la regulación de la productividad primaria neta por su carácter de ecosistemas complejos y dinámicos.

III. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Estimar el contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea, en el Área Natural Protegida *Marismas Nacionales*, Nayarit, México.

3.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Estimar el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea por hectárea (MgC ha^{-1}).
- Estimar el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea por cobertura vegetal (MgC).
- Calcular la captura de carbono expresada en $\text{MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ para cada tipo de cobertura vegetal.

IV. AREA DE ESTUDIO

Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales (RBMN)



Los humedales que se distribuyen entre Nayarit y Sinaloa fueron designados como sitio RAMSAR⁴ número 732 en junio de 1995 (RAMSAR, 2001), por su papel hidrológico, biológico y económico significativo en el funcionamiento natural de una cuenca hidrográfica o sistema costero de cañadas que abarca estos dos estados. Los manglares de Marismas Nacionales, junto con los de Chiapas, son los ecosistemas más importantes del Pacífico de América (Torres *et. al.*, 2010).

El 3 de junio del 2005 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el aviso mediante el cual se informa al público en general que se pusieron a disposición los estudios realizados para justificar la expedición del Decreto por el que se pretendía declarar como área natural protegida con el carácter de Área de Protección de Flora y Fauna la zona conocida

⁴ La Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, denominado Convenio de Ramsar, es un tratado intergubernamental que proporciona el marco para la acción nacional y la cooperación internacional para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos (http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-home/main/ramsar/1_4000_2 Fecha de consulta 7 de septiembre 2010, 11:59hrs).

como Marismas Nacionales (D.O.F, citado en Torres *et. al.*, 2010), con una superficie total de 133,854 hectáreas (D.O.F., 2010).

Finalmente, el 12 de mayo del 2010 fue decretada Área Natural Protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales (RBMN) por presentar más de un ecosistema no alterado por la acción del hombre y especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción (CONANP, 2010). Se designaron dos zonas núcleo con una superficie total de 1,208.11 ha, con su respectiva zona de amortiguamiento de 132,645.28 ha (D.O.F., 2010).

4.1 UBICACIÓN

La RBMN se encuentra en la planicie costera del Pacífico de la República Mexicana en la costa sur de Sinaloa y la costa norte de Nayarit. Entre las coordenadas extremas 21° 30' 44'' a 23° 51' 59'' de latitud N y los 105° 14' 13'' a 106° 01' 23'' de longitud oeste (Arriaga, 2000) presenta un gradiente altitudinal que val del nivel del mar a una altitud de 200 msnm (RAMSAR, 2001).

Se encuentra limitada al Norte por la colindancia con el río Baluarte y al Sur por la Bahía de Matanchen, abarca ocho municipios: Rosario y Escuinapa del Estado de Sinaloa; Tecuala, Acaponeta, Santiago Ixcuintla, Tuxpan, Rosamorada y San Blas del Estado de Nayarit (RAMSAR, 2001) (Figura 7).

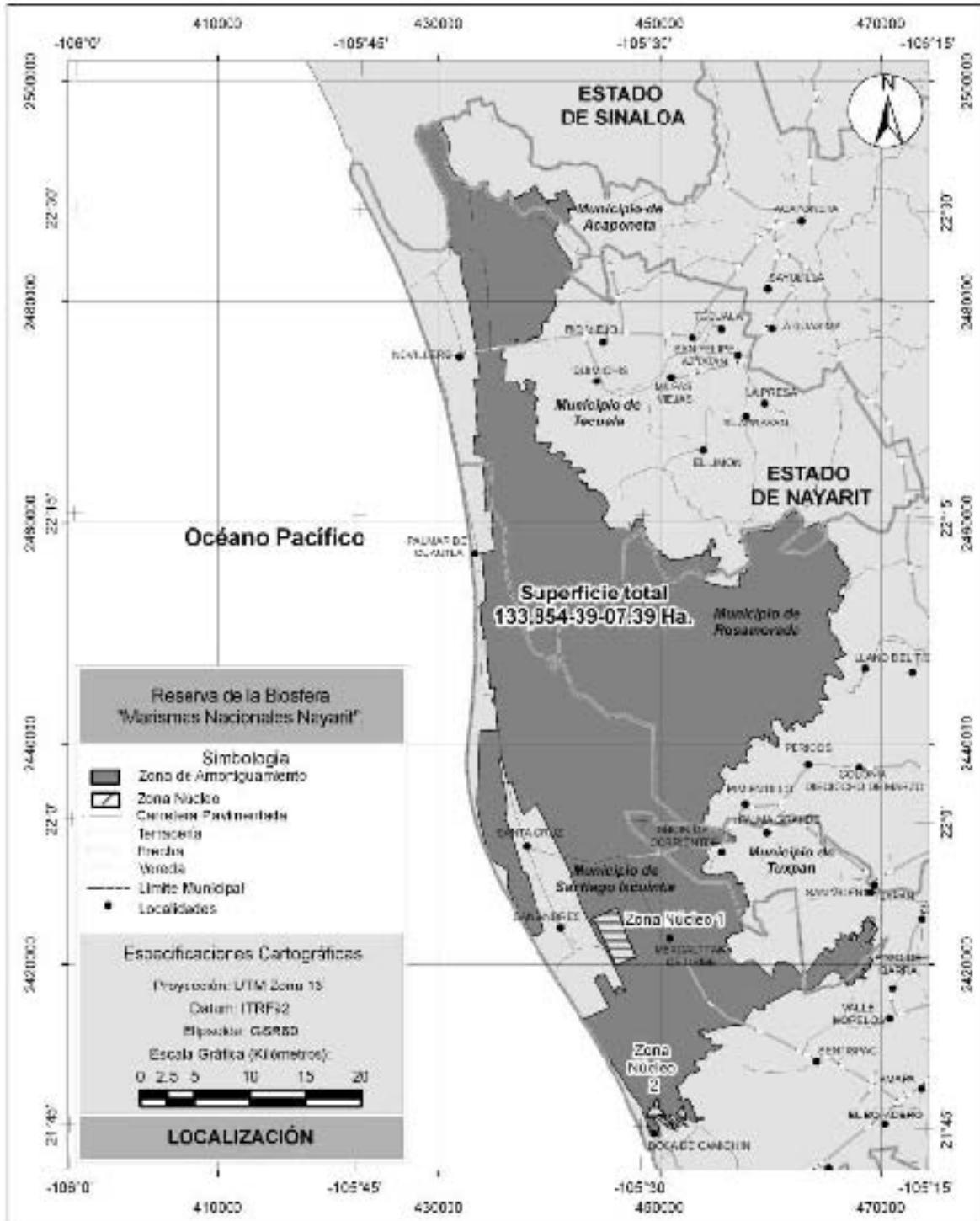


Figura 7. Mapa del polígono, ubicación, delimitación y zonificación de la Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales. (D.O.F., 2010).

4.2 CLIMA

Aunque de acuerdo con García (1987; citado en Valdés, 2001) el clima general de la zona en estudio es clasificado como cálido-subhúmedo con lluvias en verano (Aw (w)), por su extensión y gradiente altitudinal presenta su variante más seca (Aw0) en la parte norte (municipio de Tecuala), la intermedia (Aw1) en la porción central (municipio de Santiago Ixcuintla), y la más húmeda (Aw2) en la parte sur (municipio de San Blas) (Valdez, 2001). La temperatura media anual es mayor a los 21 °C, en tanto que la precipitación va de los 800 mm a los 1500 mm en los meses de mayo a octubre y de 75mm a 100mm de noviembre a abril (INEGI, 1980).

4.3 HIDROLOGÍA

Según se observa en la figura 8 la zona de estudio se ubica en la región hidrológica Presidio – San Pedro (INEGI, 2010). Tres ríos, importantes por su caudal, vierten sus aguas en la región de interés (Figura 9): el Acaponeta, (hacia el estero Cuautla y laguna de Agua Brava), el San Pedro (hacia la laguna de Mexcaltitán) y el Santiago (hacia San Blas) (Valdez, 2001).

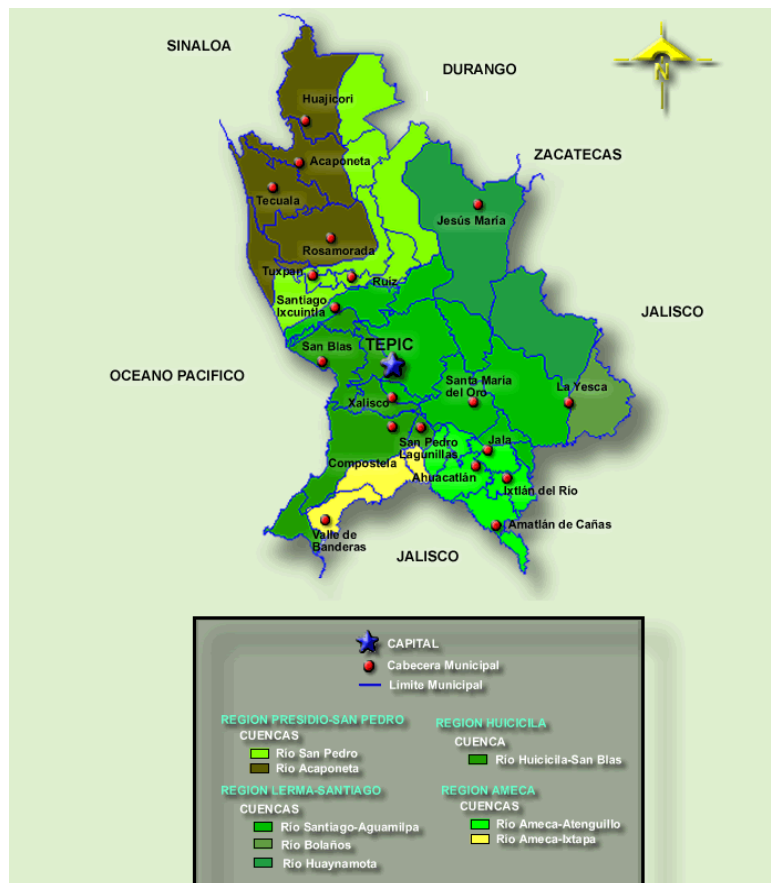


Figura 8. Nayarit. Ubicación de las Regiones Hidrológicas (INEGI, 2010)

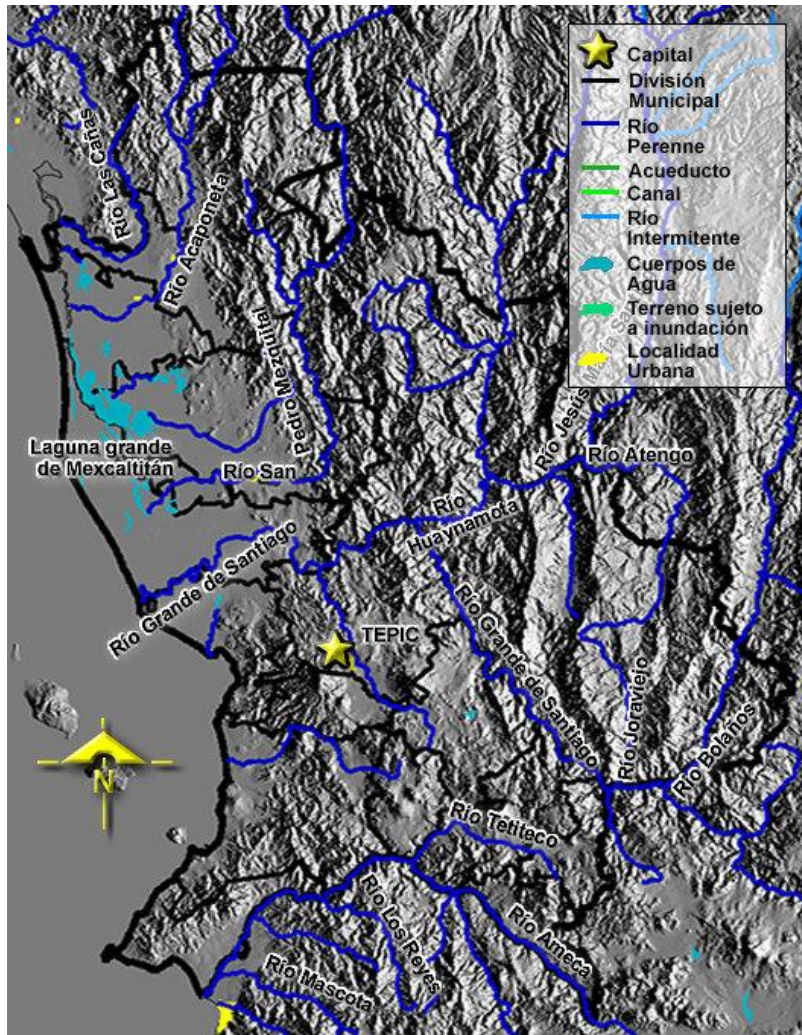


Figura 9. Nayarit. Ubicación de los principales ríos (INEGI, 2010)

La Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales es un extenso complejo de lagunas costeras de agua salobre, manglares y pantanos, alimentado por siete ríos y corrientes alternas como son los Ríos Baluarte, Cañas, Acaponeta, San Pedro, Bejuco, Santiago y San Blas o Sauta. Comunicado al Océano Pacífico por la Bocas de Teacapán, Cuautla, El Colorado y los deltas del Río Santiago y San Pedro (RAMSAR, 2001).

La llanura costera está surcada por numerosos ríos y arroyos que nacen en la Sierra Madre Oriental y desembocan en las diversas lagunas en el Océano Pacífico. Estas corrientes forman valles fértiles, en donde se ha concentrado la población. Todos los ríos de Nayarit pertenecen a la vertiente del Océano Pacífico como el Acaponeta, el San Pedro Mezquital y el Huaynamota afluente del Santiago, nacen en el estado de Durango y forman cañones muy profundos en sus cuencas medias (RHRAP, 2010).

4.4 GEOLOGÍA Y EDAFOLOGÍA

Las formas geológicas más abundantes son rocas volcánicas sedimentarias del cenozoico cuaternario y terciario y depósitos aluviales del reciente (INEGI, 2010). La región de Marismas Nacionales presenta suelos minerales poco evolucionados de aporte coluvial – marino o no consolidado con erosionabilidad moderada y salinización. También presenta suelos con acumulación de sales solubles con alto contenido de sodio, y suelos corrosivos cuyo contenido de sales o sodio afecta en grado variable a los materiales utilizados en la infraestructura que quedan en contacto directo con dichos suelos (RAMSAR, 2001).

Los principales grupos de suelos en el área de estudio son solonchaks y fluvisoles (Valdez, 2001). En un estudio llevado a cabo en la llanura costera del estado de Nayarit, Bojórquez *et al.* (2008; citado en Valdés, 2010) reportan que en esta región se identificaron como principales suelos a los cambisoles, fluvisoles, feozems, gleysoles, regosoles, arenosoles y solonchaks e indican que los principales suelos que se presentan en la llanura de inundación mareal y las barras paralelas, playas y dunas costeras son solonchaks, regosoles y arenosoles. Por su parte la FAO (2006; citado en Arriaga, 2000) reporta que los suelos que se distribuyen ampliamente en el área son cambisol crómico (72%) y feozem háplico (28%) con más del 15% de saturación de sodio en alguna porción situada a menos de -125cm de profundidad y una clase textural fina en los -30cm superficiales del suelo.

4.5 VEGETACIÓN

Esta Reserva de la Biósfera comprende una superficie de 133,854 hectáreas, y concentra el 20% del total de los manglares del país (CONANP, 2009); constituyendo la zona más extensa de manglares del Pacífico de América (Flores *et.al.*, 2010).

En el área de estudio se presentan cuatro especies de manglares: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Avicenia germinans* (Mangle negro) y *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo) las 4 incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2001. Específicamente, para el estado de Nayarit *L. racemosa*, llega a ser monoespecífico en grandes superficies de los sistemas lagunares de Teacapán – Agua Brava. Mientras que el mangle negro *A. germinans* es común en el área de Teacapán. Esta última especie también se considera dominante en los bordes de lagunas costeras formadas por depresiones paralelas a la costa nayarita, en donde también se distribuye el mangle botoncillo *Conocarpus erectus* (en PIMA, 2008; Valdés, 2010; Torres *et al.*, 2010).

Dentro de la RBMN también se identifican distintos tipos de vegetación como: la sabana tropical, manglar, palmar, selva mediana subperennifolia, selva baja caducifolia

vegetación halófila y acuática, matorral espinoso, vegetación de dunas costeras dominada por plantas rastreras como *Ipomoea prescaprae*, esteros, lagunas, marismas y pastizal inducido (RAMSAR, 2001).

La distribución del manglar se asocia principalmente a las orillas de los esteros, la desembocadura de ríos y otros cuerpos de agua costeros, a factores abióticos como la temperatura media anual elevada (20º C), baja amplitud térmica, suelos salinos y limosos, aguas salubres o francamente saladas, relativamente tranquilas, así como inmersión de nivel intermitente (en PIMA, 2008, Valdés, 2010; Torres *et al.*, 2010).

A medida que el agua disminuye tierra adentro, la dominancia de las especies de mangle es modificada, de este modo dentro de la franja ribereña el área en contacto con el agua es colonizada por *Rhizophora mangle*, que forma poblaciones generalmente monoespecíficas, que cubren zonas sumergidas casi permanentemente. Los suelos son altamente salinos y los lodos muy fluidos, para los cuales *Rhizophora* está particularmente bien adaptado. Esta especie de mangle puede alcanzar hasta 20m, y presenta adaptaciones morfológicas como la presencia de raíces aéreas (raíces zancas) y rizóforas, que emergen de 50 cm a 1 m por encima del agua (en PIMA, 2008; Valdés, 2010; Torres *et al.*, 2010).

En la porción intermedia, se encuentra *Laguncularia racemosa*, que se mezcla con los últimos ejemplares de *Rhizophora mangle*, y se vuelve más abundante hacia el interior, en los sectores de menor inundación. Mientras que en progresión hacia los lugares más frecuentemente exondados⁵, hacia los suelos de salinidad más débil, menos impregnados de agua y más cerrados, domina *Avicennia germinans*, que se caracteriza por presentar abundantes neumatóforos verticales y delgados que emergen a unos centímetros del suelo; en esta zona, el manglar se asocia con vegetación halófila arbustiva o herbácea, como con especies de *Sesuvium portulacastrum*, *Batis marítima*, *Borrchia frutescens*, *Lycium carolinianum*, *Sporobolus virginicus*, *Phloxerus vernicularis*, *Frimbristylis* sp. En los suelos de salinidad débil totalmente exondados, salvo en los periodos de grandes mareas, se distribuye *Conocarpus erecta*, aunque también puede cubrir terrenos a veces inundados de agua dulce (en PIMA, 2008; Valdés, 2010; Torres *et al.*, 2010).

Los otros tipos de vegetación como la selva mediana subperennifolia se distribuyen en áreas con mayor disponibilidad de agua y desde 0 hasta 1,000 m.s.n.m., este tipo de vegetación presenta dos estratos, las especies más conspicuas son el cedro macho

⁵ Donde el agua se ha retirado del terreno.

(*Sciadodendrom excelsum*), ramón (*Brosimum alicastrum*), palma de coquito (*Orbignya guacoyule*) y primavera (*Tabeuia donell-smithi*) (RAMSAR, 2001).

La vegetación halófila se localiza a lo largo de la costa, en altitudes menores a 10 m.s.n.m., sobre terrenos planos sujetos a inundaciones marinas con depresiones en las que la acumulación de sales se eleva y el drenaje es lento. Las especies de plantas halófitas más comunes son: *Salicornia* spp., *Batis* spp., *Sesuvium portulacastrum*, *Suaeda brevifolia*, *S. ramosissima*, *Salicornia europea* (RAMSAR, 2001).

La vegetación acuática está constituida por especies de amplia distribución, aquí abunda el tular, establecido al fondo en cuerpos de agua poco profundos de corriente lenta, las asociaciones más frecuentes están dominadas por *Typha* spp., *Scirpys* spp. y *Cyperus* spp. (RAMSAR, 2001).

4.6 FAUNA

La diversidad de la fauna dentro de la RBMN está asociada a la heterogeneidad ambiental de la zona, y se han reportado alrededor de 300 especies de vertebrados (RAMSAR, 2001; D.O.F., 2010; CONANP, 2010).

La Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales es una región de importancia para la conservación porque presenta una alta concentración de aves acuáticas y semiacuáticas residentes y migratorias a las que provee refugio invernal y condiciones de reproducción, de modo que debe considerarse parte del eslabón del corredor de estas aves del Pacífico, debido a su importancia como zona de descanso y alimentación para cerca de 70,000 a 104,000 aves acuáticas (principalmente anátidos y ardéidos); las aves son el grupo más numeroso, se estima que cerca el 80% de las aves migratorias del corredor migratorio del Pacífico se concentra en Marismas Nacionales. También habitan una gran variedad de peces, crustáceos y moluscos de importancia económica para México (Arriaga, 2000).

Para el caso de la fauna son 60 las especies que se encuentran bajo algún estatus de protección, según la NOM-059-SEMARNAT-2001, entre ellas: jaguar (*Panthera onca*), jaguarundi (*Herpailurus yagouarondi*), tigrillo (*Leopardus pardalis*), ocelote (*Leopardus wiedii*), cocodrilo de río (*Crocodylus acutus*), loro corona lila (*Amazona finschii*), garza morena (*Ardea herodias santilucae*), garceta rojiza (*Egretta rufescens*), gavilán zancón (*Geranospiza caerulescens*), pato real (*Cairina moschata*), charrán elegante (*Sterna elegans*), charrán mínimo (*Sterna antillarum*), y cuatro especies de tortugas marinas: blanca (*Chelonia mydas*), laúd (*Dermochelys coriacea*), carey (*Eretmochelys imbricata*) y golfinia (*Lepidochelys olivacea*), así como lagarto enchaquirado (*Heloderma horridum*),

iguana verde (*Iguana iguana*), iguana - espinosa mexicana (*Ctenosaura pectinata*), víboras de cascabel (*Crotalus basiliscus* y *C. atrox*), cantil enjaquimado (*Agkistrodon bilineatus bilineatus*) y serpiente coralillo del oeste mexicano (*Micrurus distans*) (D.O.F., 2010).

La Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales es clave en el corredor natural de las especies de zonas Neotropicales (sur) y Neárticas (norte) para la zona de la vertiente costera del occidente de México, bastante afectada hoy por los desarrollos turísticos (CONANP, 2009).

4.7 ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

Las lagunas costeras de Nayarit presentan condiciones estuarinas de alta permanencia; la mezcla de aguas marinas y dulces generan las condiciones que las caracterizan como los cuerpos lagunares más productivos del noroeste. Sostienen importantes pesquerías lagunares y de alta mar. En la llanura costera abundan aguas interiores o depósitos de agua, por lo que se le ha dado el nombre de zona estuarina de Nayarit (RAMSAR, 2001).

Se desarrolla la pesca de litoral y en menor proporción de altamar. Las especies que se obtienen con mayor abundancia son: lisa, pargo robalo, sierra, corvina, tortuga, constantino y guachinango (Atlas Nacional de México, 1990 citado en RAMSAR, 2001). El funcionamiento de la actividad pesquera se apoya en 7 oficinas de pesca, de las que sobresalen: Tuxpan, Tecuala y San Blás (Pacheco y Guevara, 1990 citado en RAMSAR, 2001).

Parte de los esteros de San Blas, (San Cristóbal, El Pozo y El Rey) han sido transformados en granjas camaronícolas, cuyo desarrollo se lleva a cabo en aproximadamente 2,902 ha de estanques, que han tenido impacto en aproximadamente 900 ha de manglares (RAMSAR, 2001).

Actualmente los principales productos agrícolas que se cultivan en la llanura costera son frijol, maíz, tabaco, sorgo y caña de azúcar (Bojórquez, 1992; citado en RAMSAR, 2001), mientras que en la ganadería, la actividad más importante es la engorda de ganado bovino (RAMSAR, 2001).

El aprovechamiento forestal está destinado a los humedales, principalmente el mangle, para su uso como: madera para construcción, combustible (leña), postes para las áreas de cultivo, entre otras similares (Torres *et al.*, 2010).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

La estimación de la captura de carbono presenta variables que hacen de éste un trabajo poco sencillo; dicha estimación se refiere al cálculo de la cantidad de carbono fijado en la biomasa de organismos vivos que se adquiere año con año (crecimiento). Los estudios principalmente consideran a los ecosistemas forestales y la información previa para la estimación de la captura de carbono parte de un inventario forestal expresado en metros cúbicos por hectárea y el incremento corriente anual (ganancia de biomasa) expresado en metros cúbicos por hectárea al año (Torres *et al.*, 2010).

Para los muestreos en campo se realizó un método de muestreo anidado ($n=3$), jerárquico, estratificado, con distribución sistemática, propuesto por Ordóñez *et al.* (2008), (Figura 10) y que es producto de la compilación y síntesis de métodos aplicados por varios autores, que han sido usados a fin de realizar la determinación de biomasa en diferentes almacenes, inventarios forestales y análisis del cambio en la cobertura vegetal y uso de suelo para integrarlo con el contenido de carbono en biomasa aérea, mantillo y suelo (Ordóñez, 2008; Torres *et al.*, 2010).

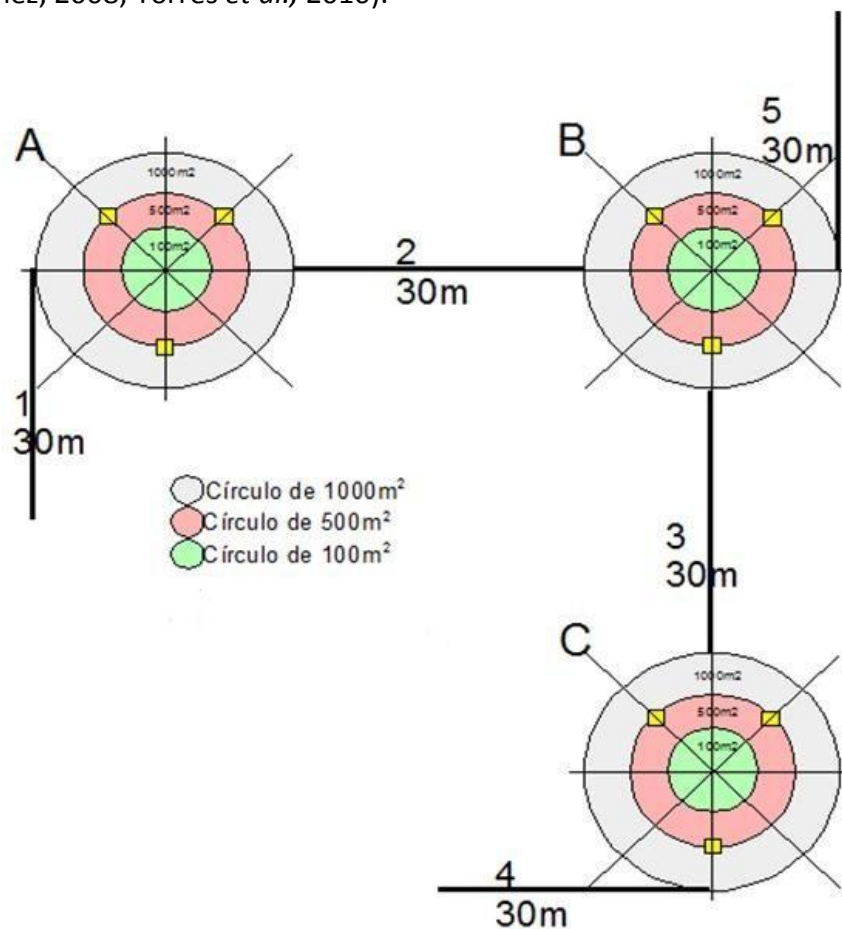


Figura 10. Diseño de muestreo (Ordóñez, 2008).

5.1 SELECCIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

El material base utilizado para la elaboración del presente trabajo consiste en los mapas de uso de suelo y vegetación elaborados por Mesomaya-CONANP (2010) durante el desarrollo del proyecto “Iniciativa de México para la protección del clima en el corredor ecológico Sierra Madre oriental y en las lagunas costeras de Laguna madre y Marismas nacionales” (Torres *et al.*, 2010).

A partir de dichos mapas, se analizó la distribución de los diferentes tipos de vegetación natural presente en el área y con ayuda del personal del ANP, se establecieron 12 sitios de muestreo en las clases de cobertura vegetal y uso de suelo realizados en mayo del 2010 (Ordóñez *et al.*, 2008; Torres *et al.*, 2010).

Los sitios propuestos, fueron seleccionados en conjunto con los directivos del ANP, basados en que las condiciones de la vegetación estuvieran en concordancia con las condiciones generales observadas durante el trayecto al punto de muestreo (Torres *et al.*, 2010).

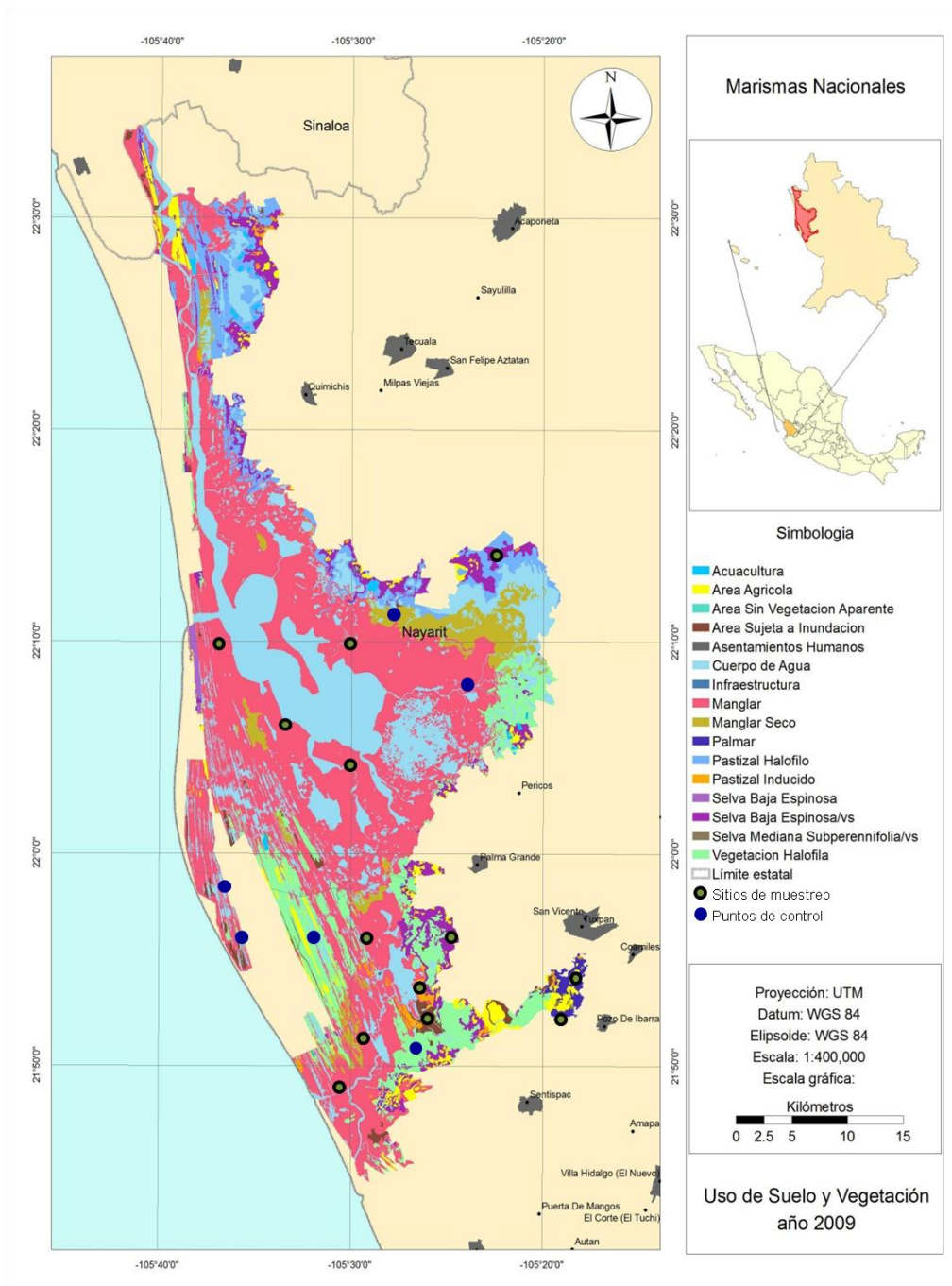


Figura 11. Mapa de la clasificación de cobertura vegetal y uso de suelo de la Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales. Ubicación de los puntos de muestreo (Torres, *et.al.*, 2010).

Con base en el mapa (Figura 11), se estimó el área en hectáreas y porcentaje correspondientes a cada tipo de cobertura vegetal y uso del suelo. De las 12 clases presentes, se seleccionaron sólo 4 para el estudio dada su importancia y dominancia superficial para determinar, en esta primera fase, el carbono almacenado en su biomasa

aérea y su potencial de captura de carbono, paso seguido se estimó el carbono almacenado y su potencial de captura en 4 clases más, aplicando valores de correlación y ponderación (cuadro 6).

5.2 PARÁMETROS ESTIMADOS

5.2.1 VOLUMEN

La determinación dasométrica del volumen se generó a partir del área basal, multiplicada por la altura y por un coeficiente mórfico, (Ordóñez, 1998 y 1999).

$$V = (AB) (h) (0.7)$$

Donde:

$V = \text{volumen (m}^3\text{)}$

$AB = \text{área basal (m}^2\text{)}$

$h = \text{altura (m)}$

$0.7 = \text{coeficiente mórfico}$

El área basal fue estimada a partir de los datos obtenidos del diámetro normal (DN) tomado a una altura de 1.30 m.

$$AB = \pi (DN^2 / 4)$$

Donde:

$AB = \text{área basal (m}^2\text{)}$

$\pi = 3.1416$

$DN = \text{diámetro normal (m)}$

La altura se estimó aplicando las ecuaciones propuestas por Torres *et al.*, (2010) que están en función del diámetro registrado.

$$h = 3.4698 (\ln DN) + 2.1803$$

Donde:

$h = \text{altura (m)}$

$DN = \text{diámetro normal (m)}$

5.2.2 BIOMASA

La biomasa aérea se refiere a la materia orgánica seca contenida en tronco, ramas, hojas, y partes reproductivas de los árboles. Para estimarla se multiplicó el volumen de cada árbol por un factor de densidad de la madera reportado para las especies registradas.

$$B = (V) (\delta)$$

Donde:

$B =$ biomasa (kg)

$\delta =$ densidad de la madera

$V =$ volumen (m^3)

(kg/m^3)

Una vez obtenida la biomasa, se procedió a multiplicar por un factor de expansión usado para incrementos, este cálculo permite incorporar al árbol las partes restantes no cuantificadas (Ordóñez *et al.*, 1998). El factor de expansión depende de la especie o grupos de especies en cuestión; por defecto se usa el valor de 1.3 (Jaramillo *et al.*, 2003; IPCC, 2007; Ordóñez, 2008).

5.3 ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO

Una vez identificada la cobertura vegetal y calculada la biomasa, se procedió a determinar el contenido de carbono en la hectárea tipo de acuerdo con la siguiente ecuación (Ordóñez, 2008):

$$C_{AER} = E.R. * \delta * CC$$

Donde:

$C_{AER} =$ Carbono almacenado por especie y por tipo de cobertura vegetal expresado en $MgC\ ha^{-1}$

$E.R. =$ Existencias Reales m^3/ha

$\delta =$ Densidad de la madera para cada especie expresada en t/m^3

$CC =$ Contenido de carbono (valor por defecto IPCC, 2003) 0.45

Una vez estimado el carbono almacenado en las diferentes especies arbóreas presentes por cobertura vegetal y uso de suelo (C_{AER}), se suman los valores obtenidos y el resultado es el carbono almacenado por hectárea en cada cobertura vegetal (C_{AER}) y se expresa en $t\ ha^{-1}$ o $MgC\ ha^{-1}$ (Torres *et al.*, 2010).

A continuación, para estimar la cantidad de carbono que se encuentra almacenado en toda la superficie que ocupa cada una de las coberturas vegetales, se procede a multiplicar la superficie de cada cobertura vegetal previamente identificada por el promedio C_{AER} de los 12 sitios, y se obtienen MgC por tipo de cobertura vegetal (Ordóñez, 2008).

5.4 ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE CO_{2e}

Para conocer la captura de carbono expresada en MgCO₂ equivalente, se multiplica el contenido de carbono de cada sitio, por la relación del peso molecular del CO₂ dividido entre el peso molecular del C (44/12) (Rodríguez y Lawrence, 1998).

5.5 ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA POTENCIAL

El potencial de captura de carbono, se obtuvo a partir del incremento corriente anual por especie, es decir, el crecimiento⁶ y estimado para cada hectárea muestreada:

$$PCC = I.C.A. * \delta * CC$$

Donde:

PCC = Potencial de captura de carbono MgCO_{2e}ha⁻¹year⁻¹

I.C.A. = Incremento corriente anual m³ ha⁻¹year⁻¹

δ = Densidad de la madera para cada especie expresada en t/m³

CC = Contenido de carbono (valor por defecto IPCC, 2003) 0.45

⁶ El crecimiento anual de una especie forestal, se obtiene de la diferencia del volumen del año anterior con respecto al volumen del año actual.

VI. RESULTADOS

6.1 CONTENIDO Y CAPTURA DE CARBONO Y CO_{2e}

El mapa de cobertura de vegetal y uso de suelo proporcionado por Mesomaya – CONANP (2010), muestra la distribución espacial de las coberturas de: manglar, manglar seco, palmar, pastizal y pastizal inducido, selva baja espinosa, selva baja espinosa con vegetación secundaria (vs), selva mediana subperennifolia y vegetación halófila, siendo dichas coberturas las principales, así mismo se señalan las áreas sin vegetación aparente. Se incluyen usos de suelo como: acuacultura, área agrícola, infraestructura y asentamientos humanos, presencia de cuerpos de agua y áreas sujetas a inundación (Figura 11).

Se estimó el área ocupada por cada una de las 12 clases de cobertura vegetal y uso del suelo presentes, observándose que: el manglar es la cobertura dominante en ésta ANP, ya que cuenta con más del 44% del total de la superficie, seguido de los cuerpos de agua con el 25 %, la vegetación halófila representa el 9%, el pastizal y la selva baja espinosa con vegetación secundaria el 5%, la sección con manglar seco que ocupa el 4% de la superficie total, mientras que las clases restantes cuentan con menos del 1% de la superficie total (Cuadro 6).

Cuadro 6. Usos de Suelo y cobertura vegetal de la Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales

Uso de suelo y vegetación	2009	
	ha	%
FORESTAL		
Área sin vegetación aparente	14	0.01
Área sujeta de inundación	1,413	1.06
Manglar	59,119	44.17
Selva Baja Espinosa	424	0.32
Pastizal	7,606	5.68
Vegetación halófila	12,385	9.25
Palmar	820	0.61
Selva Baja Espinosa / vs	7,249	5.42
Selva Mediana Subperennifolia	46	0.03
Subtotal	89,077	66.55
NO FORESTAL		
Acuacultura	442	0.33
Área Agrícola	3,943	2.95
Asentamientos humanos	37	0.03
Infraestructura	116	0.09
Manglar Seco	5,803	4.34
Pastizal inducido	909	0.68

Subtotal	11,250	8.40
OTROS		
Cuerpos de agua	33,527	25.05
Subtotal	33,527	25.05
TOTAL	133,854	100

Como se verá en los próximos resultados, el área ocupada por cada tipo de cobertura vegetal y uso de suelo, tiene una importante influencia en los índices de contenido y captura de carbono.

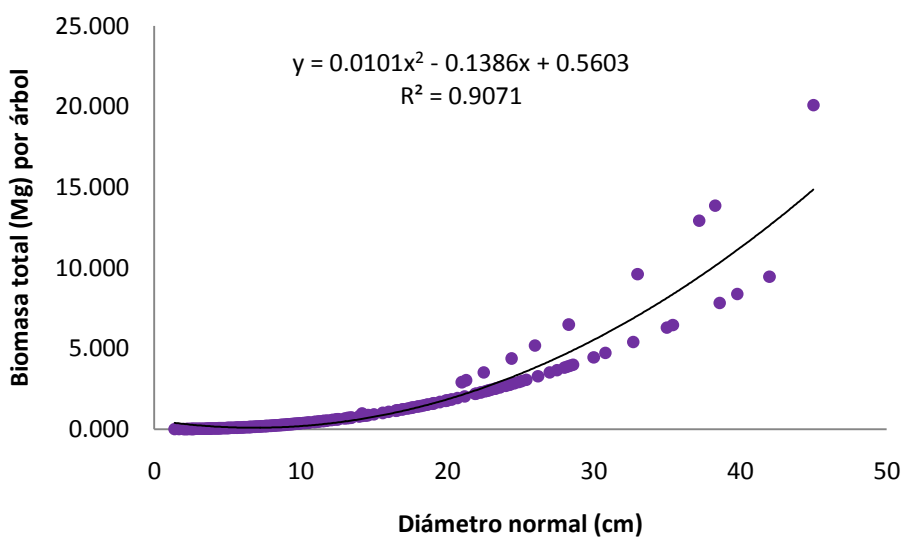


Figura 12. Relación de la biomasa total y el diámetro normal de los individuos muestreados

Se muestra en la Figura 12 que existe una relación polinómica entre las variables diámetro a la altura del pecho y biomasa, principalmente en el rango de 10 a 20 cm, de manera que el efecto en el aumento del diámetro influye en la ganancia de biomasa y por tanto en el almacenamiento de carbono.

En cuanto al contenido de carbono, la selva mediana presenta el mayor contenido de carbono almacenado por hectárea con 120 MgC ha^{-1} , el manglar presenta un almacén de 102 MgC ha^{-1} en la parte bien conservada, la selva baja espinosa tiene un almacén de $50.61 \text{ MgC ha}^{-1}$ y el palmar de $42.75 \text{ MgC ha}^{-1}$, mientras que los ecosistemas como el pastizal y la vegetación s presentaron un almacén de carbono de 9 MgC ha^{-1} y aquellos con algún grado de alteración como la selva baja con vegetación secundaria y el pastizal inducido mostraron 8.03 MgC ha^{-1} y 7 MgC ha^{-1} respectivamente (Cuadro 7).

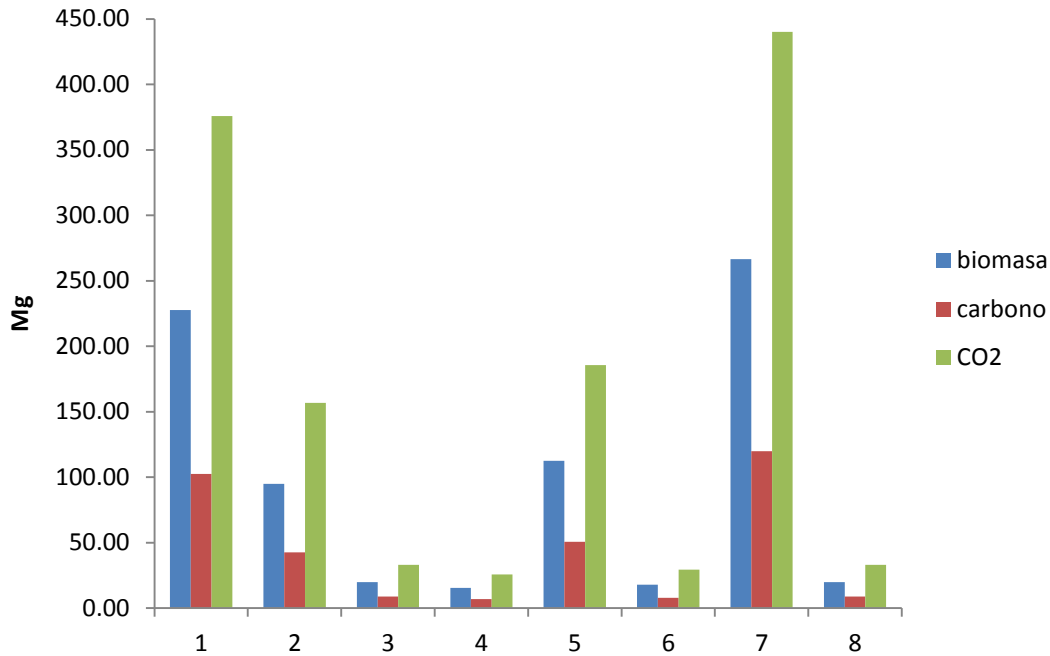


Figura 13. Contenido de biomasa, carbono y CO_{2e} por hectárea en cada cobertura vegetal.

1. Manglar 2. Palmar 3. Pastizal 4. Pastizal inducido 5. Selva baja espinosa 6. Selva baja espinosa/vs 7. Selva mediana subperennifolia 8. Vegetación halófila

Se aprecia en la figura 12 que la cobertura que más contribuye al almacén de carbono por hectárea es la selva mediana subperennifolia. En adición las 3 variables: biomasa, carbono y CO₂ siguen el mismo patrón de comportamiento en todas las coberturas vegetales, ya que se hayan correlacionadas.

Sin embargo, considerando la extensión geográfica de las coberturas, es posible advertir claramente que el manglar es el tipo de cobertura que más contribuye al almacén con 6,059,738.49 MgC, por ser la vegetación que mayor área ocupa dentro de la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales (Figura 13).

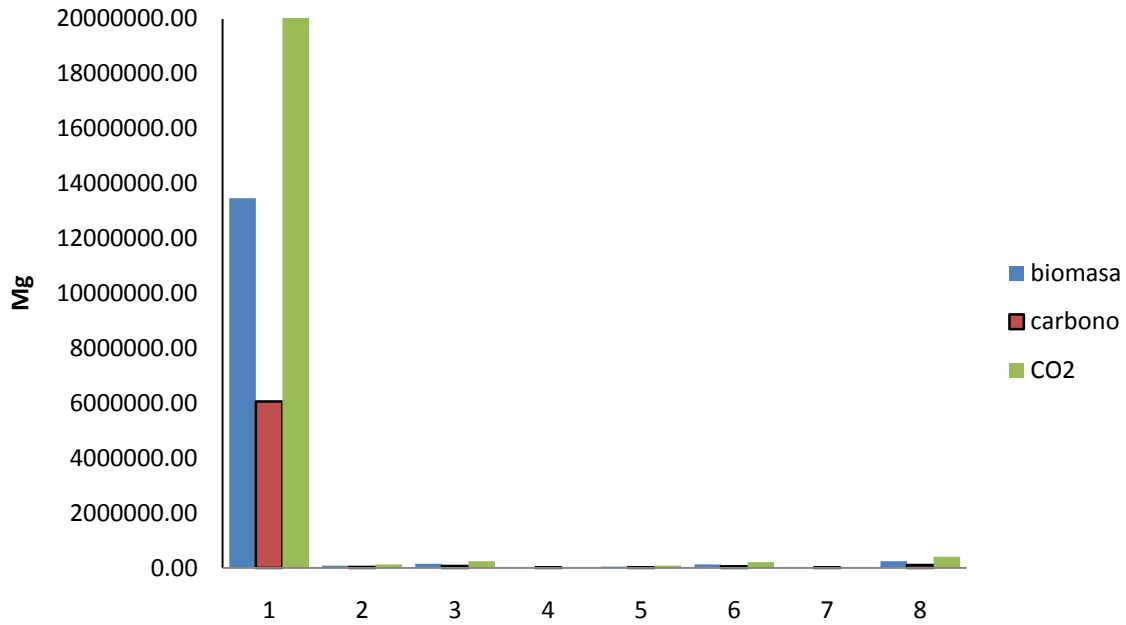


Figura 14. Contenido de biomasa, carbono y CO_{2e} por cobertura vegetal.

1. Manglar 2. Palmar 3. Pastizal 4. Pastizal inducido 5. Selva baja espinosa 6. Selva baja espinosa/vs 7. Selva mediana subperennifolia 8. Vegetación halófila

La captura potencial de carbono estimada a partir del crecimiento, es decir, el aumento de biomasa de las especies dentro de las coberturas vegetales arrojó que la mayor captura potencial con $2.4 \text{ MgC ha}^{-1}\text{year}^{-1}$ (equivalente a $8.8 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{year}^{-1}$) corresponde a la selva mediana; el manglar presentó un potencial de captura de carbono de $1.9 \text{ MgC ha}^{-1}\text{year}^{-1}$, es decir aproximadamente $6.9 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{year}^{-1}$; la selva baja espinosa, y el palmar presentaron un potencial de 1 y $0.8 \text{ MgC ha}^{-1}\text{year}^{-1}$ respectivamente, que es equivalente a 3.7 y $2.9 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{year}^{-1}$. Los ecosistemas con menor captura potencial en paridad con los resultados de contenido de carbono corresponden a pastizal y vegetación con $0.12 \text{ MgC ha}^{-1}\text{year}^{-1}$ y $0.43 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{year}^{-1}$. Como resultado de los procesos del cambio en la cobertura vegetal hacia un uso del suelo, el pastizal inducido tiene captura potencial de carbono de $0.09 \text{ MgC ha}^{-1}\text{year}^{-1}$, que equivale a $0.33 \text{ MgCO}_2\text{e}$ capturadas por hectárea al año y la selva baja con vegetación secundaria $0.61 \text{ MgC ha}^{-1}\text{year}^{-1}$ ($0.59 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{year}^{-1}$) (cuadro 7).

De la misma manera el manglar, gracias a la extensión que ocupa, contribuye con la mayor captura potencial de CO₂: $412,653 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{year}^{-1}$, en sus $59,119.40 \text{ ha}$ (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores de contenido de carbono y captura potencial de CO₂

Cobertura Vegetal	Carbono almacenado por hectárea (Mg)	Carbono almacenado por cobertura vegetal (Mg)	Potencial de captura de carbono por hectárea (Mg)	Potencial de Captura de MgC ha ⁻¹ a ⁻¹	Captura potencial de MgCO _{2e} /año por cobertura vegetal
Acuicultura	na	na	na	na	Na
Área Agrícola	na	na	na	na	Na
Área Sin Vegetación Aparente	na	na	na	na	Na
Asentamientos humanos	na	na	na	na	Na
Infraestructura	na	na	na	na	Na
Uso de Suelo No Forestal	na	na	na	na	Na
Área Sujeta a Inundación	na	na	na	na	Na
Cuerpo de Agua	na	na	na	na	Na
Manglar	102.5	6,059,738.49	1.9	6.98	412,653.4113
Manglar Seco	na	na	na	na	Na
Palmar	42.75	35,065.13175	0.8	2.94	2,411.49678
Pastizal Halófilo	9	6,8456.718	0.12	0.43	3,270.70986
Pastizal Inducido	7	6,360.4443	0.09	0.33	2,99.849517
Selva Baja Espinosa	50.61	21,465.86205	1.01	3.71	1,573.569417
Selva Baja Espinosa/vs	8.03	58,207.80699	0.61	0.59	4,276.787811
Selva Mediana Subperennifolia	120	5,524.32	2.4	8.8	405.1168
Vegetación Halófila	9	111,465.9099	0.12	0.43	5,325.593473
Captura potencial de CO_{2e} de la RBMN en Mg					430,216.53496
Abreviaturas.					
vs: vegetación secundaria; na: no aplica ⁷					
Color azul: Valor ponderado ⁸					

La Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales, en sus coberturas de: manglar, palmar, pastizal halófilo, pastizal inducido, selva baja espinosa, selva baja espinosa con vegetación secundaria, selva mediana subperennifolia y vegetación halófila almacenan un total de

⁷ Refiere a zonas donde el área de captura no es significativa o incluso puede ser nula

⁸ Los valores ponderados atañen a valores estimados en sitios con poco tamaño de muestra

6,366,284.68 MgC (23,343,043.84 MgCO_{2e}) y presentan una captura potencial total de 430,216.53 t MgCO_{2e} ha⁻¹year⁻¹.

Como puede observarse, la aportación de las coberturas vegetales en el contenido y la captura de carbono, está fuertemente influenciado con su área de distribución, ya que aún aquellas coberturas que presentan un alto contenido y captura de carbono por hectárea, su poca extensión limita su contribución notablemente.

VII. DISCUSIÓN

El estudio de estimación de captura de carbono se inicia basado en una cartografía que muestre la clasificación de las coberturas del área; la cartografía utilizada en esta tesis con una escala 1:400,000 es útil para estudios descriptivos, aunque presenta el inconveniente de enmascarar el estado real y cambios finos que guarda cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo, en características como: los cambios de composición, estructura, densidad de biomasa y procesos biológicos internos, entre los principales, que son obviados por el proceso de clasificación supervisada de imágenes de satélite, es por ello que se hizo necesario corroborar dicha clasificación en campo.

Durante la ubicación de puntos de control para establecer los sitios de muestreo en campo, se registraron inconsistencias respecto a la clasificación de la leyenda por tipo de cobertura vegetal y uso de suelo; es decir la cobertura clasificada no se encontraba en las coordenadas señaladas en la cartografía. Estas observaciones permitieron dirigir el muestreo hacia aquellas áreas que guardaran a la cobertura vegetal y no hacia las degradadas, que no correspondían a la clasificación.

El método anidado, jerárquico, estratificado, con distribución sistemática, nos permite precisar los contenidos de carbono en la hectárea tipo para cada cobertura vegetal y uso del suelo analizado, sin embargo, el tamaño de muestra para este estudio se mantuvo sujeto a tiempo y recursos un tanto limitados, es por eso que los resultados destacan la necesidad de aumentar el tamaño de muestra ya que las diferencias observadas en la biomasa y por consiguiente en el contenido de carbono para cada una de las clases de cobertura son evidentes.

A nivel nacional, se ha identificado el uso generalizado e indiscriminado de valores de contenido y captura potencial de carbono; este estudio permite entre otras cosas, retirar algunas incertidumbres generadas en estudios de caso muy puntuales o demasiado generales como las estimaciones nacionales, de ahí la importancia de aplicar criterios sobre la selección de índices de carbono, para otras clases similares de cobertura vegetal y uso de suelo, en estudios tipo desarrollados en una misma cobertura vegetal en México, para precisar una línea de base; en este sentido la relevancia de este estudio radica en aportar información tomada directamente de las coberturas en campo.

Se pueden observar en los resultados algunas diferencias entre los potenciales de captura y el almacén de carbono, por clase de cobertura vegetal y uso del suelo, donde aunque el contenido y potencial de captura por hectárea pueden considerarse menos elevados que otros, la superficie total que ocupa la clase es la que determina en mayor medida su contribución como sumidero de carbono, tal es el caso del manglar. Algunos autores

(Yañez, *et. al.*, 1998; Brevik y Jeffrey, 2004; Moreno, *et. al.*, 2006; Moreno, *et. al.*, 2010), mencionan que es el bosque de manglar el ecosistema con la más alta tasa de captura de carbono.

La acumulación de carbono orgánico es, como en otros ecosistemas, resultado del balance de los procesos de fijación de carbono a través de la fotosíntesis y la pérdida por la descomposición; en los manglares los promedios de fotosíntesis son más altos y la descomposición microbiana es más lenta como resultado de la ausencia de O₂ en los poros del suelo, de manera que se permite que se acumulen grandes cantidades de materia orgánica sobre el suelo (Reddy *et al.*, 2000 en Moreno, *et al.*, 2002; Moreno *et. al.*, 2006).

El secuestro de carbono en los suelos, impide su liberación en forma de CO₂ aislándolo de la circulación de la atmósfera por largos periodos, que pueden ser de hasta miles de años. Por ello se ha sugerido que la función de estos ecosistemas como almacenes de C pudo contribuir en los últimos siglos a balancear las pérdidas de C liberado a la atmósfera por la reducción en la biomasa forestal causada por la actividad humana a lo largo de la historia (Armentano, 1987 citado por Valdés, 2010).

En contraste con el manglar, la selva mediana contribuye poco en el almacén y captura, gracias a que cuenta con sólo el 0.03% de cobertura (46 ha), sin embargo, presenta una composición de especies y estructura cuya eficacia de captura permite un almacén elevado de carbono por hectárea, por lo que resulta importante ahondar en estudios de este tipo de vegetación cuya fisionomía y densidad le permiten tener una mayor captura por hectárea.

Con respecto a los sitios de selva baja el impacto humano es mediano pero constante, lo que se traduce en la presencia de áreas con desarrollo de vegetación secundaria mezclados con algunos elementos de la comunidad original; se observó que, por su estado sucesional, esta cobertura se encuentra en una etapa de sucesión secundaria con vegetación arbustiva, resultado de la extracción de madera; las especies arbóreas de este tipo de vegetación presentan diámetros menores en comparación con aquellos individuos de las zonas de selva más conservada, este tipo de ecosistemas alterados, con manejo aparentemente reciente, limitan su capacidad para capturar carbono. Otro impacto fuerte es el debido al reemplazo de la selva baja por pastizales introducidos con fines pecuarios (ganadería), así como la apertura de áreas para la agricultura de temporal.

El cuadro 8, muestra que los datos estimados de contenido de carbono, son consistentes, con lo reportado por algunos autores para la biomasa aérea en tipos de vegetación similares.

Cuadro 8. Valores de contenido de carbono y biomasa reportados para otros sitios semejantes.

	Valores	Vegetación	Autor
Contenido de carbono	104.8 MgC ha ⁻¹	Humedales	Arreaga, 2002
	49 a 66 MgC ha ⁻¹	Humedales	Bridgham <i>et al.</i> , 2006
	537.5 MgC ha ⁻¹	Manglar	Mendoza <i>et al.</i> , 2010
	0.5 a 40 MgC ha ⁻¹ año ⁻¹	Pastizal	Moreno <i>et al.</i> , 2006
	117.28 MgC ha	Selva mediana	García y Camara, 2009
Biomasa	100-200 Mg ha ⁻¹	Manglar	Moreno <i>et al.</i> , 2006
	7.4 Mg ha ⁻¹ year ⁻¹ (incremento)	Manglar	Lema y Polanía, 2006

Fue posible también notar algunas diferencias en los contenidos de carbono y su potencial de captura dentro de una misma clase de cobertura, pero en diferentes localidades de muestreo, esto como resultado del manejo que llevan estas áreas y los diversos estados de sucesión de la vegetación que reflejan variaciones en la composición, estructura y densidades de biomasa presentes dentro de la misma clase.

Al mismo tiempo, los resultados de las estimaciones del carbono contenido por cobertura vegetal, también nos permite apreciar que cada clase presenta diferentes almacenes de carbono, porque cada área se encuentra bajo distintas condiciones climáticas, topográficas, y de manejo llevadas a cabo por los propietarios de los predios incluidos en la RBMN

Aun bajo estas condiciones la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales (RBMN) obtuvo en suma un almacén de 6,366,284.68 MgC (23,343,043.84 MgCO_{2e}) y una captura potencial de 430,216.53 MgCO_{2e} ha⁻¹year⁻¹.

Es preciso mencionar que, aunque los humedales del mundo no ocupan más del 2% de la extensión de los continentes, contienen en sí casi el 25% de todo el carbono de la biósfera terrestre (Armentano, 1987 en Valdés, 2010; Moreno *et al.*, 2006). Aunque el sumidero más importante de carbono se halla incorporado al suelo, es la vegetación arbórea la que colabora con la protección del mismo y mantiene la dinámica que permite que se lleven a cabo los procesos necesarios para mantener la captura y el almacén del carbono orgánico.

En términos generales los ecosistemas tropicales constituyen no solo un emisor de carbono menor, sino que conservan cantidades importantes de este elemento y por tanto poseen la capacidad para incrementar su potencial de captura mediante prácticas de manejo enmarcadas dentro de los mecanismos de mitigación propuestos por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Brown, 1999).

Las estimaciones del contenido y captura como resultado de la dinámica que se lleva a cabo en las coberturas revisadas, particularmente el manglar, permiten apreciar la relevancia de los sumideros de carbono, que en México juegan un papel fundamental para mitigar el cambio climático y garantizar la provisión de múltiples servicios ecosistémicos.

Sin embargo, resulta importante considerar que, gracias a la falta de O₂ y a la reciente elevación de la temperatura por acción del calentamiento global, se ve favorecida la descomposición anaerobia, que genera CH₄ como producto del metabolismo; y se calcula que los humedales contribuyen anualmente con 0.7084 MgCH₄ (Bridgham *et al.*, 2006).

En las variaciones de densidades de vegetación, la presencia de ganado juega un papel preponderante debido principalmente a que, las condiciones de crecimiento en áreas en las cuales existe presencia frecuente de ganado, no se permite que la vegetación crezca con las mismas densidades que en sitios en donde no existe ganado.

Las actividades productivas que los propietarios desarrollan en su predio y en las vecindades dentro de las clases de cobertura vegetal del ANP, afectan los almacenes de carbono y su potencial de captura; advirtiendo la pérdida de biomasa particularmente en aquellos que tienen ganado o bien, donde se promueve el cambio de cobertura vegetal hacia un uso del suelo agrícola. Aunque es necesario resaltar que, la afectación de los ecosistemas más productivos como el manglar, el palmar y las selvas, resulta en un impacto negativo mayor, que la degradación de aquellos cuya composición de especies contribuye en menor medida a la fijación de carbono como los pastizales.

Los manglares y sus ecosistemas asociados, tienen un alto valor económico y ecológico ya que mantienen las pesquerías, son fuente de energía, alimento, materia prima de medicamentos, protegen la costa del oleaje las tormentas e inundaciones y la erosión, purifican el agua y el aire, además de contener un alto valor estético y paisajístico que favorece el desarrollo de actividades recreativas y turísticas (Moreno *et. al.*, 2006); el aprovechamiento de algunos de estos servicios impactan negativamente este ecosistema y otros incluidos dentro de la Reserva como el caso de la selva baja y la mediana subperennifolia, ya que disminuyen su cobertura, modifican la topografía e hidrología, contaminan el agua y el suelo.

La degradación representa una de las causas principales en la reducción del potencial de captura de los tipos de vegetación estudiados, se estima que para fines de la década de los 90's la tasa de deforestación de manglares en México había llegado al 70% (Yañez, *et. al.*, 1998). Con la tasa de destrucción actual, se ha calculado que cerca de 86, 250,000 toneladas de C podrían liberarse en los años siguientes como consecuencia de los suelos expuestos en espera del restablecimiento del equilibrio natural (Valdés, 2010).

Desde el punto de vista de la explotación forestal, las especies arbóreas albergadas en Marismas Nacionales, por su talla y forma no presentan características deseables para el comercio, pero, hay que destacar que a nivel local, se usa la madera de muchas especies para la construcción, fabricación de objetos artesanales, muebles, combustible y otros propósitos; la falta de planes de manejo y ordenamiento territorial comunitario vulnera la diversidad y permanencia de estos y otros ecosistemas, pero también abre la posibilidad a otros productos maderables.

La conjunción de todas las presiones sobre este grupo de ecosistemas analizados, además de resultar en la disminución de la cobertura vegetal del mismo, afectan su estructura y funcionamiento, y con ello los servicios ecosistémicos brinda, entre ellos el valor escénico y paisajístico. Todo esto repercute negativamente en las actividades económicas que en ellos se desarrollan, disminuyendo los beneficios económicos, por lo que el costo de mantenerlos es mayor a los eventuales beneficios de deteriorarlo para algunas actividades productivas. La falta de valoración de estos servicios ha ocasionado que no sean percibidos por quienes los mantienen, por los propietarios de los ecosistemas que los producen y por quienes los recibimos, lo que ocasiona que lleguen a ser considerados como elementos perpetuos que no requieren manejo o cuidado, y favorece la falta de visión sobre su importancia (Torres y Guevara, 2002).

El valor total de un ecosistema no debe radicar en la consideración de uno y sólo uno de los servicios que provee, sino que su precio es incrementado conforme se considere la valoración de más servicios ecosistémicos. Éste trabajo representa, entre otras cosas, un acercamiento que nos permite realizar una apreciación de uno de estos servicios, el de captura de carbono en la Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales.

Actualmente el sistema de desarrollo basado en la sobreextracción de recursos, ha colocado a los Servicios ecosistémicos (SE) como externalidades positivas, que no son incorporadas a las retribuciones que obtienen quienes los mantienen, es decir, que no son valoradas en términos de la economía de mercado. Mientras que el clima global es un bien público y, el cambio climático, desde la óptica económica, representa la mayor externalidad negativa global cuya magnitud, determinará en gran medida las características y condiciones del desarrollo económico del siglo XXI (Galindo, 2009).

Cabe resaltar el hecho de que la presencia de las actividades de agricultura y ganadería en el terreno incluido como ANP, no es más que resultado de la ausencia de soluciones rentables que permitan a los dueños hacer un uso sostenible de los recursos existentes sin comprometer los objetivos del área protegida.

Durante el trabajo en campo se dialogó con los pobladores y dueños de los predios correspondientes a la RBMN, quienes comentan que la expropiación del área para denominarla Reserva de la Biosfera no representa ningún beneficio económico para ellos, de manera que resulta más redituable recibir subsidio federal para realizar actividades de desmonte que permitan el desarrollo de alguna actividad agrícola o pecuaria, en lugar de aprovechar la venta del servicio ambiental: captura de carbono. Además las entrevistas nos permiten apreciar que los ingresos que generan las actividades agrícolas y pecuarias en muchos casos son de sobrevivencia y tienen un costo negativo referente a pérdida de biodiversidad (por la transformación del paisaje y cambio en la calidad del suelo), es decir que los subsidios recibidos, enmascaran los costos reales que representa el establecimiento de dichas actividades productivas.

Esta situación de mal manejo de los recursos hace necesaria la implementación de modificaciones a los mecanismos por los cuales se establecen estas áreas, donde se permita ofrecer alternativas a los propietarios con el objeto de que puedan seguir subsistiendo de sus campos, sin que por ello se dejen de lado los propósitos de conservación y garantía de provisión de los servicios ecosistémicos del ANP.

De los 17 estados de la República que cuentan con manglares solo 8 tienen áreas destinadas a conservarlos, albergándolos en 16 ANPs distribuidas en toda la costa del país, bajo este escenario las ANP se consideran aun insuficientes en número y superficie para mantener la integridad de los ecosistemas costeros, ya que se encuentran interconectados con otros que muchas veces no están protegidos (Moreno *et. al.*, 2006).

El manejo correcto de la vegetación en la RBMN constituye una oportunidad para el incremento en el almacenaje de carbono, y por lo tanto, se espera que estos resultados sean útiles para promover acciones de conservación y reforestación con el apoyo de los Gobiernos Municipal y Estatal. En este sentido el atractivo del Pago por Servicios Ambientales constituye una nueva forma de promover la conservación de los estos ecosistemas, mientras se soporta el desarrollo económico de las poblaciones rurales (Corbera *et. al.*, 2008).

El mercado de captura de carbono es un mercado en el que participan una parte compradora que es generalmente un país desarrollado o empresa socialmente responsable y una parte vendedora que comúnmente es un país en desarrollo o una comunidad rural, que vende captura adicional de carbono que se realiza en sus predios (Torres y Guevara, 2002), aunque la eficiencia social, económica y ambiental de este tipo de mercados depende de una serie de factores, esencialmente de naturaleza extraeconómica como pueden ser: las relaciones de poder, el nivel de los costos de

transacción, la concentración de la oferta y la demanda, la oferta de información sobre las condiciones de los mercados (Merino, 2003).

El mercado de captura de carbono en bosques y selvas se establece en dólares por tonelada de carbono capturado (Ordóñez, 2008). El valor económico de cada tonelada de carbono depende de los costos marginales⁹ del cambio climático, mismos que son muy difíciles de estimar dado que se requiere una enorme cantidad de proyecciones y supuestos (Pearce, 1998).

De esta forma la venta del servicio ambiental: captura de carbono, tal como se muestra en el Anexo, puede a bien proveer una entrada de capital considerable. El pago además de contribuir a la ganancia económica de las comunidades, favorece la preservación y el mantenimiento del ecosistema. No obstante debe mencionarse que la creación de conciencia ambiental entre la población que maneja estos ecosistemas, figura entre una de las principales acciones que a largo plazo favorecerá la conservación de la RBMN.

⁹ El costo marginal se define como el aumento del costo total necesario para producir una unidad adicional del bien (Pearce, 1998)

7.1 SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

- a) Para poder hacer una mejor estimación de la cantidad de carbono, se debe intensificar el tamaño de muestra para hacerlo más representativo, establecer áreas de monitoreo permanente, estudiar y analizar las variables críticas (incremento corriente anual por especie, densidad de la madera por especie y carbono contenido en la madera de cada especie incluida), conformar los acuerdos e instrumentos legales, involucrar a las comunidades que se pueden beneficiar y cumplir con los estándares internacionales.
- b) Para el seguimiento y estudios posteriores, se deberá realizar una clasificación más fina de las diferentes coberturas (enfaticando en la distinción de aquellas clases de cobertura que se encuentren: perturbadas, abiertas, en proceso de sucesión; identificar los ecotónos; comunidades vegetales que deben ser corroboradas por medio de cotejos de campo).
- c) Contrariamente a lo que se creía de que las áreas destinadas a la conservación son “tierras ociosas”, el potencial de captura de carbono presente en cada una de las áreas estudiadas, reafirma la importancia del potencial que este servicio ambiental posee para integrarse a la economía nacional, sin contar otros servicios ecosistémicos importantes como: la conservación de la biodiversidad y la recarga de acuíferos.
- d) Es importante identificar las especies que contribuyen mayormente al almacén de carbono para focalizar la atención en su mantenimiento y conservación, pudiendo ser consideradas en la recuperación de ecosistemas de condiciones similares para ello es necesario conocer la distribución de cada una de las especies y estimar el contenido por especie.
- e) La conservación de la RBMN puede verse favorecida con la impartición de pláticas o talleres que tengan el objetivo de concientizar a la población acerca de cuidar este tipo de ecosistemas y los beneficios que de ello se obtiene.

VIII. CONCLUSIONES

La Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales representa una fuente de servicios ecosistémicos brindados por sus cubiertas forestales, particularmente la captura de carbono.

Se registra que la selva mediana aporta el mayor contenido de carbono almacenado por hectárea con 120 MgC ha^{-1} y una captura potencial de $8.8 \text{ MgCO}_{2e} \text{ ha}^{-1}\text{year}^{-1}$, seguido del manglar con un almacén de 102 MgC ha^{-1} y captura de $6.9 \text{ MgCO}_{2e} \text{ ha}^{-1}\text{year}^{-1}$, la selva baja espinosa tiene un almacén de $50.61 \text{ MgC ha}^{-1}$ con potencial de $1 \text{ MgCO}_{2e} \text{ ha}^{-1}\text{year}^{-1}$ y el palmar de $42.75 \text{ MgC ha}^{-1}$ cuyo potencial de captura es $0.8 \text{ MgCO}_{2e} \text{ ha}^{-1}\text{year}^{-1}$, mientras que ecosistemas menos productivos como el pastizal y la vegetación halófilos presentaron un almacén de carbono de 9 MgC ha^{-1} y capacidad de almacenar $0.43 \text{ MgCO}_{2e} \text{ ha}^{-1}\text{year}^{-1}$, y aquellos con algún grado de alteración como la selva baja con vegetación secundaria y el pastizal inducido mostraron 8.03 MgC ha^{-1} y 7 MgC ha^{-1} respectivamente, con un potencial de captura de 0.33 y $0.61 \text{ MgCO}_{2e} \text{ ha}^{-1}\text{year}^{-1}$.

Aún cuando el manglar es la cobertura que ocupa el segundo lugar en contenido y captura por hectárea, es el ecosistema que por su superficie del 44% de la RBMN contribuye mayoritariamente al almacén y captura potencial.

La venta del servicio ambiental: captura de carbono puede a bien proveer a los proveedores del servicio, dueños de los terrenos incluidos en Marismas Nacionales, una opción de aprovechamiento viable para nutrir su economía, sin favorecer la pérdida de cobertura y sus servicios ecosistémicos.

El valor de los ecosistemas costeros debería, radicar también, en la valoración de los otros servicios con los que contribuyen además de la captura de carbono, como son: el control de la erosión, alta productividad primaria, son almacenes de nutrientes alóctonos y sedimentos, filtración de agua, protección de la línea de costa, proporcionan protección frente a ciclones y tormentas, regulación del clima, ciclaje de nutrientes, su fauna contribuye al control biológico, albergan una increíble diversidad de especies de importancia ecológica y comercial, contribuyen a la recreación y disfrute de la belleza escénica y, finalmente su condición como ecotonos y frontera entre el mar y la corteza terrestre les confiere de un papel fundamental en el equilibrio ecológico de la naturaleza.

REFERENCIAS

- Arreaga G., E. 2002. Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biósfera Maya Petén, Guatemala. Tesis de maestría. CATE, Costa Rica, 86p.
- Arriaga, L., M. Espinoza M., C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa. (coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), México. Capítulo MARISMAS NACIONALES RTP-61: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rtp_061.pdf Fecha de consulta 25 de septiembre, 2010. 23:11 hrs.
- Bezaury, C. 2009. El valor de los bienes y servicios que las áreas naturales protegidas proveen a los mexicanos. The nature conservancy, Programa México – Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México. 32p.
- Bridgham S., D., J. Patrick M., J. Keller, N. Bliss, y Carl Trettin. 2006. The carbon balance of north american wetlands. WETLANDS, The Society of Wetland Scientists Vol. 26, (4) : 889–916.
- Brevik E., C. y A. Jeffrey H. 2004. A 5000 year record of carbon sequestration from a coastal lagoon and wetland complex, Southern California, USA. Elsevier. p. 221–232
- British Broadcasting Corporation (BBC). 2010. Figura Efecto Invernadero. http://www.bbc.co.uk/spanish/especiales/clima/ghouse_1.shtml Fecha de consulta 27 de julio de 2010. 15:17 hrs.
- Brown, S. 1999. Opportunities for mitigating carbon emissions through forestry activities. Winrock International para el Banco Mundial. 5p.
- Camilloni I. y V. Carolina. 2008. La atmósfera. Explora, Ciencias Naturales. Argentina. 16p.
- Carrillo F., J. y J. Mota V. (compiladores). 2008. Guía legal para dueños de bosques en México. 3ª edición. WWF – México. 204p.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2009. Informe de Logros 2009. http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/logros.php. Fecha de consulta 3 de octubre 2010. 21:08 hrs
- CONANP. 2010. Áreas Protegidas Decretadas. http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/. Fecha de consulta 28 de marzo de 2011. 18:01 hrs.
- Corbera E., C. González S., y K. Brown. 2008. Institutional dimensions of Payments for Ecosystem Services: An analysis of Mexico's carbon forestry programme. Ecological Economics doi:10.1016/j.ecolecon.2008.06.008. 19p.
- Daily G., C., S. Alexander, P. Ehrlich, L. Goulder, J. Lubchenco, P. Matson, H. Mooney, S. Postel, S. Schneider, D. Tilman, y G. Woodwell. 1997. Ecosystem Services: Benefits Supplied To Human Societies By Natural Ecosystems. Issues in Ecology, No. 2, Ecological Society of America, Washington, DC. 21p.

- De la Maza E., R. Cadena, y C. Pigueron. 2003. Estado actual de las Áreas Naturales Protegidas de América Latina y el Caribe (Versión Preliminar). PNUMA, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Quercus Consultoría Ecológica S.C. 130p.
- Diario Oficial de la Federación (D.O.F). 2010. Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente (LGEEPA), publicada en 1998 con su última reforma publicada DOF 06-04-2010. 103p.
- D.O.F. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 Protección Ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. 153p.
- Dixon R., K., S. Brown, R. Houghton, A. Solomon, M. Trexler y J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263:185-190.
- Duarte C., M., S. Alonso, G. Benito, J. Dach, C. Montes, M. Pardo, A. Ríos, Simó R., Valladares F. 2006. Cambio global. Impacto de la actividad humana. Colección divulgación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 163p.
- Educaplus. 2010. Elementos químicos. Abundancia y estado natural. <http://www.educaplus.org/sp2002/2abundancia/c2.html>. Fecha de consulta 17 de noviembre 2010. 16:05 hrs.
- Flores V., F., M. Blanco C., M. Ortiz P., D. Serrano, A. Ruiz F., J. Carrillo R., A. Peralta H. 2010. Diagnóstico del sistema de marismas asociado al Sistema Ambiental Regional Terrestre del proyecto CIP Costa Pacífico. Instituto de Geografía, UNAM. 141 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales (FRA por sus siglas en inglés). 12p.
- FAO. 1995. Forest Resources Assessment 1990 – Tropical forest plantation resources. Forestry paper No. 128. Roma. 343 p.
- Fragoso, L. 2003. Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio “Cerro Grande” municipio de Tancítaro Michoacán, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 66p.
- Galindo, L. M. 2009. La economía del cambio climático en México: Síntesis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D.F., 77p.
- García D., A. y L. Camara C. 2009. PSA: captura de carbono como alternativa para la conservación del ANP Cascadas De Reforma, Balancan, Tabasco, México. División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT. 10 p.
- Harrison J. A. 2003. El ciclo carbónico: siempre de ida y vuelta. Vision learning Vol. EAS-2 (3s). http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=95&l=s Fecha de consulta 22 de noviembre 2010. 15:13hrs.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2007. 2.1 El carbono. <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/296/cap2.html>. Fecha de consulta 11 de julio 2011, 14:30 hrs.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1980. Carta de efectos climáticos regionales noviembre-abril 1:250,000 Tepic F 13 – 8.
- INEGI. 1980. Carta de efectos climáticos regionales mayo – octubre 1:250,000 Tepic F 13 – 8.
 - INEGI. 1980. Carta de efectos climáticos regionales mayo – octubre 1:250,000 Escuinapa F 13 – 5.
 - INEGI. 2010. Nayarit. Regiones Hidrológicas. <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/nay/rh.cfm?c=444&e=18> Fecha de consulta 6 de octubre 2010. 13:32 hrs
 - INEGI. 2010. Nayarit. Mapa con Principales Ríos. http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/nay/sombreado_ri.cfm?c=444&e=18 Fecha de consulta 6 de octubre 2010. 14:03 hrs
 - INEGI. 2010. Nayarit. Mapa de Precipitación Promedio Anual. <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/nay/precipit.cfm>. Fecha de consulta 8 de octubre de 2010. 14:04 hrs
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1990. Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. First Assessment Report (FAR). Cambridge University Press. 326p.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881p.
 - IPCC, 2005: IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp.
 - IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
 - IPCC. 2010. Aspectos del cambio climático, incluidos su potencial ambiental y sus consecuencias socioeconómicas <http://www.ipcc.ch/organization/organization.htm> Fecha de consulta 19 de julio de 2010. 11:59 hrs.
- Lee, H., J.L. Carr y A. Lankerani. 1995. Human disturbance and natural habitat: a biome level analysis of a global set. *Biodiversity and Conservation*, (4):128-155
- Lema V., L. y J. Polanía. 2006. Estructura y dinámica del manglar del delta del río Ranchería, Caribe colombiano. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 55 (1): 11-21.
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). 2010. Última reforma publicada DOF 06-04-2010. 103p.

- Magaña, V. 1994. El pronóstico del tiempo para los próximos días, meses, años. Ciencias N°35. pp. 15-22.
- Masera, O. 2006. La ecología global desde la perspectiva del cambio climático. Ciencias No.81, UNAM, Facultad de Ciencias, México, 13 p.
- Mendoza D., C., A. Ildfonso C., G. Manjarrez P. 2010. Mangles de Cartagena de Indias: patrimonio biológico y fuente de biodiversidad. Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco. 72.
- Merino, L. 2003. Los bosques de México – reflexiones en torno a su manejo y conservación, En: Ciencias #72, UNAM, Facultad de Ciencias, México, p 59-67.
- Montoya G., S. Soto, B. de Jong, K. Nelson, P. Farias, P. Yakac'ic, J. H. Taylor y R. Tipper. 1995. Desarrollo forestal sustentable: captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas. Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, México, 50p.
- Moreno C., E., A. Guerrero, Ma. del C. Gutiérrez, C. Ortiz, D. Palma. 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. Madera y Bosques Número especial : 115-128 p.
- Moreno C., E., E. Peresbarbosa y B. Travieso (Editores). 2006. Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal. Instituto de Ecología A.C.-Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas (SEMARNAT)- Gobierno del Estado de Veracruz. Xalapa, Ver., México. Vol I: 478p.
- Moreno M., G., J. Ceron, R. Ceron, J. Guerra, E. Amador, E. Huerta. 2010. Estimación del potencial de captura de carbono en suelos de manglar de isla del Carmen. UNACAR TECNOCENCIA. 23 – 39 p.
- Organización de Naciones Unidas (ONU). 1998. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático 25p.
- Ordóñez D., M. y O. Flores. 1995. Áreas Naturales Protegidas. Pronatura. México, D.F. 43p.
- Ordóñez, A. 1999. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. INE-SEMARNAP. México. 72p.
- Ordóñez D., A. 2008. Emisiones y captura de carbono derivadas de La dinámica de cambio en el uso del suelo en los bosques de la región purépecha. Capítulo I. Los ecosistemas forestales y el cambio climático en México. Tesis doctoral. Instituto de Ecología. UNAM. 140p.
- Ordóñez D., J. y O. Masera. 2001. La captura de carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques 7 (1): 3-12.
- Ordóñez, J., O. Masera y V. Jaramillo. 1998. Estimación del contenido de carbono en la biomasa aérea, mantillo, suelos y raíces de los bosques de mesa y de pino-encino en El Carricito, en la Sierra Madre occidental. Instituto de Ecología, UNAM.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 2010. Reservas de la Biosfera en América Latina y el Caribe.

- <http://www.unesco.org.uy/mab/documentospdf/RB.MAB1-dorso.pdf>. Fecha de consulta 9 de septiembre de 2010. 13:27hrs.
- Pearce, D. 1998. Auditing the Earth: The value of the world's ecosystem services. *Environment*, 40(2), 23-28
- Profesionales en Ingeniería y Medio Ambiente (PIMA). 2008. Manifestación de impacto ambiental (Modalidad particular). Acondicionamiento de un atracadero rústico en pescadero, municipio de Rosamorada, Nay. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/nay/estudios/2008/18NA2008HD029.pdf>. Fecha de consulta 11 de enero de 2011. 14:09 hrs.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2005. Evaluación de los ecosistemas del milenio. PNUMA. 43p.
- RAMSAR. 2001. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. <http://ramsar.conanp.gob.mx/sitios.php> Fecha de consulta 3 de octubre 2010. 21:32 hrs.
- Red hemisférica de reservas para aves playeras (RHRAP) Descripción. Marismas Nacionales. <http://www.whsrn.org/es/perfil-de-sitio/marismas-nacionales>. Fecha de consulta 27 de septiembre 2010. 13:48 hrs.
- Rodríguez J. y P. Lawrence. 1998. Potencial de carbono y fijación de dióxido de carbono de la biomasa en pie por encima del suelo en los bosques de Guatemala. Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible. 51p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2006. El medio ambiente en México 2005: en resumen. México. 99p.
- SEMARNAT. 2007. Regiones Terrestres Prioritarias. <http://infoteca.semarnat.gob.mx/boletin/2007/index11.htm>. Fecha de consulta 11 de enero de 2011. 16:33hrs.
 - SEMARNAT. 2009. El medio ambiente en México 2009: en resumen. México. 66p.
- Schimel, D.S. 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology*, p. 77-91
- Smith, T.M., W.P. Cramer, R.K. Dixon, R. Leemans, R.P. Neilson, y A.M. Solomon. 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle. *Water, Air and Soil Pollution*, 70: 19-37p
- Torres, J. F., G. A. Flores, F. Calvo, L. Balam, V. Sepúlveda, I.E. García, O. Aguado y Z. Araujo. 2010. Valoración económica de seis Áreas Naturales Protegidas como sumideros de CO₂: Laguna Madre, Marismas Nacionales, Zicuirán-Infernillo, Sierra de Abra Tanchipa, Xilitla y Sierra Madre Oriental. GTZ-CONANP, 137p.
- Torres J., y Guevara A. 2002. El potencial de México para la producción de servicios ecosistémicos: captura de carbono y desempeño hidráulico. INE, En: *Gaceta Ecológica*, No.63, México

- Valdez, H. 2001. Flora vascular de los manglares de Marismas Nacionales, estado de Nayarit. Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Naturales. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto No. S131. México, D.F. 13p.
- Valdés, E. 2010. Evaluación del carbono y nutrimentos edáficos por clase de geoforma y tipo de manglar en Marismas Nacionales, Nayarit. Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados, 241p.
- Vega, L. 2008. Importancia económica de las Áreas Naturales Protegidas como sumideros de carbono en México. Versión abreviada y actualizada del documento: "Valor económico potencial de las Áreas Naturales Protegidas federales de México como sumideros de carbono". The Nature Conservancy, México. 7p.
- Wang, W., C., Y. Yung, A. Lacis, T. Mo, E. Hansen. 1976. Greenhouse effects due to man made perturbations of trace gases. Science New series. Vol. 194 (4266): 685-690.
- World Wide Fund for Nature. (WWF). 2007. Deforestación en México http://www.wwf.org.mx/wwfmex/prog_bosques_deforestacion.php
- Yañez, A., A., R. Twilley y A. Domínguez. 1998. Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. INE Madera y Bosques, otoño, año/vol. 4, (2): 3 – 19.

Cobertura Vegetal	Captura potencial de tCO2e/año por cobertura vegetal	Precio Mercado Nacional 10 USD por tCO2e	Precio Mercado Internacional 0.87 USD por tCO2e	Precio Mercado Europeo 6.15 USD por tCO2e	Precio Minimo Mercado Americano 4.74 USD por tCO2e	Precio Promedio Mercado Americano 5.66 USD por tCO2e	Precio Alto Mercado Americano 6.8 USD por tCO2e
Manglar	412,653.41	\$4,126,534.11	\$359,008.47	\$2,536,693.06	\$1,955,977.17	\$2,334,117.75	\$2,804,542.64
Palmar	2,411.50	\$24,114.97	\$2,098.00	\$14,824.13	\$11,430.49	\$13,640.30	\$16,389.41
Pastizal Halófilo	3,270.71	\$32,707.10	\$2,845.52	\$20,105.95	\$15,503.16	\$18,500.32	\$22,228.93
Pastizal Inducido	299.85	\$2,998.50	\$260.87	\$1,843.26	\$1,421.29	\$1,696.06	\$2,037.89
Selva Baja Espinosa	1573.5694	\$15,735.69	\$1,369.01	\$9,673.16	\$7,458.72	\$8,900.68	\$10,694.55
Selva Baja Espinosa/vs	4276.7878	\$42,767.88	\$3,720.81	\$26,290.58	\$20,271.97	\$24,191.07	\$29,066.61
Selva Mediana Subperennifolia/vs	405.1168	\$4,051.17	\$352.45	\$2,490.36	\$1,920.25	\$2,291.49	\$2,753.32
Vegetación Halófila	5325.5935	\$53,255.93	\$4,633.27	\$32,737.88	\$25,243.31	\$30,123.49	\$36,194.67
Comparativo del valor económico del servicio ambiental captura de carbono en el ANP		\$ 4,302,165.35	\$ 374,288.39	\$ 2,644,658.37	\$ 2,039,226.38	\$ 2,433,461.16	\$ 2,923,908.01
Cantidades expresadas en USD (Dólares Americanos) al tipo de cambio del 9 de junio 2010							
Fuente: REUTERS, 2010							
Mayo 4, 16.73 Euros y despues de mayo 4 14.93		Mercado Europeo por tonelada de carbono					
Promedio 15.40 euros, minima 12.90 y alta 18.50 Euros		Mercado Americano Euros por tonelada de carbono					