

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT

Unidad Académica de Agricultura

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

**RESERVAS DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA DEL BOSQUE DE
MANGLAR**

TESIS

Que para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en el Área de Ciencias Ambientales

Presenta:

Yushet Marily´n Rivera Aldaco

Director

Dr. Oyolsi Nájera González

Co-Director

Dr. Rafael Murray Núñez

Xalisco, Nayarit. Julio 2015



CBAP/149/15

Xalisco, Nayarit., 24 de junio de 2015

Ing. Alfredo González Jáuregui
Director de Administración Escolar
P r e s e n t e.

Con base al oficio de fecha 17 de junio de 2015, enviado por los CC. **Dr. Oyolsi Nájera González, Dr. Rafael Martín Murray Núñez, Dra. Susana María Lorena Marcela Flores y Dr. Fernando Flores Vilchez**, donde se nos indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha cumplido con los demás requisitos que pide el Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, se autoriza al **C. Yushet Marily'n Rivera Aldaco**, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestría.

Sin más por el momento, me despido de usted y reciba un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e
"Por lo Nuestro a lo Universal"

Dr. J. Diego García Paredes
Coordinador del posgrado



Expediente.

8ref.

Dr. JUAN DIEGO GARCÍA PAREDES
COORDINADOR DEL POSGRADO EN
CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS Y PESQUERAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT

PRESENTE

Por este conducto nos dirigimos a usted para informarle que, como integrantes del comité tutorial de la Biol. Yushet Marily'n Rivera Aldaco, alumna del programa de (Ambientales), hemos determinado concluido su trabajo de tesis: "Reservas de carbono en biomasa aérea de bosque de manglar", y por lo tanto, puede continuar con los trámites correspondientes para obtener su grado.

Sin otro particular, le reiteramos nuestra distinguida consideración.

ATENTAMENTE

El comité tutorial



Dr. Oyolisi Mejía González
Director de la tesis



Dr. Rafael M. Murray Núñez
Co-director



Dra. Susana María Lorena Marcelaño Flores
Asesor



Dr. Efraim Flores Vilchez
Asesor

Dedicatorias

Al gran arquitecto del Universo, a ti mi **Dios**.

Dedico éste trabajo a mis dos razones de ser, a mis padres, **Mario Rivera Altamirano y Martha Alicia Aldaco Vázquez**, por ser mi todo y, mi mejor motivación.

A mi novio, mi gran amigo, a ti, **Ulises Benjamín Ramos Avalos**, por alentarme a seguir adelante, por no ser nunca piedra de tropiezo en mi vida, y por respetar todas y cada uno de mis decisiones.

A mis hermanos, **Sergio, Gladys y Mario**, con mucho cariño y amor.

A mis sobrinos, Netzareth, Sofía, Kimberly, Juan Carlos, Nunutzi, Sergio Y Oasis.

Agradecimientos

Agradezco la paciencia, el apoyo y la ayuda del Dr. **Oyolsi Nájera González**, que sin él esto no podría ser posible.

A la Dra. **Susana Marcelleño**, que fue una parte importante para hacer investigación y un pilar para dar nuevos pasos.

Al Dr. **Rafael Murray** por su tiempo y esfuerzo.

A mis papás **Marlo y Martha**, porque aportaron en éste trabajo parte de su tiempo y esfuerzo.

A ti **Ulises B. Ramos Avalos**, nunca dejes de ser quien eres.

A mis amigos, **Juan José Terrones Bazán, Yazmín Ruíz de Anda, Imelda Almodóva, Jessica Mújica, Armando López y Gustavo Bojórquez**, por ser, en tiempos distinto, una gran ayuda, motivación y aliento, para la realización de este trabajo, y porque cada uno tiene un lugar muy especial en la mente y en el corazón de ésta simple mortal.

A la Universidad Autónoma de Nayarit.

Al Posgrado de Ciencias Biológicas Agropecuario (CBAP).

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

Agradezco a todo aquel que creyó en mí y también al que no lo hizo, al primero por darme la seguridad de que iba por buen camino, y el segundo por darme la fortaleza y el placer de demostrarme ¡qué sí se puede!, gracias a todos ellos logré estar en éste momento, dedicándoles unos cuantos renglones.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 JUSTIFICACIÓN	4
1.3 HIPÓTESIS	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Cambio climático.....	6
2.2 Impactos del cambio climático	7
2.2.1 Impactos en México por cambio climático.....	8
2.2.3 Causas del cambio climático.....	11
2.3 Efecto invernadero.....	12
2.3.1 Gases de efecto invernadero	13
2.3.1.2 Dióxido de carbono (CO ₂)	16
2.4 Ciclo global del carbono	19
2.5 Sumidero de carbono.....	20
2.6 Captura de carbono	21
2.7. Reserva de carbono.....	22
2.8. Biomasa	22
2.8.1 Estimación de la biomasa	23
2.8.1.1. Método directo o destructivo.....	24

2.8.1.2. Métodos indirectos.....	24
2.8.1.3. Método tradicional o de Factor de expansión de biomasa (BEFs: Biomass expansions factors).....	25
2.9. Humedales.....	26
2.10 Generalidades de los Manglares.....	28
2.10.1. Zonación y estructura del manglar.....	29
2.10.2. Dispersión.....	31
2.10.3. Distribución mundial, Nacional y estatal de los manglares	33
2.10.4. Importancia Ecológica, económica, social y ambiental de los manglares	37
2.10.5. Efectos del cambio climático global en el ecosistema de manglar.....	39
2.10.6. Normas y leyes que protegen al manglar en zonas costeras mexicanas.....	40
2.11 Revisión de bibliografía.....	41
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	43
3.1 Área de estudio.....	43
3.1.1 Localización del área de estudio.....	43
3.1.2 Aspectos generales del área de estudio.....	44
3.1.2.2 Suelo.....	44
3.1.2.3 Clima.....	44
3.1.2.4 Vegetación.....	44
3.1.2.5 Población.....	45
3.1.2.6 Vías de comunicación.....	45
3.2 MÉTODOS.....	46
3.2.5 Determinación de biomasa aérea	46
3.2.2 Selección de puntos de muestreo	46
3.2.4 Inventario de árboles	48

3.2.5 Determinación de biomasa aérea	48
3.2.6 Cuantificación de las reservas de carbono	49
3.2.7 Análisis de cobertura vegetal.....	50
3.2.8 Determinación de pérdida o ganancia de carbono en los tiempos 1995-2005.....	51
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	52
4.1. Resultados	52
4.1.1. Determinación de la biomasa	52
4.1.2. Reserva de carbono.....	56
4.1.3. Determinación de pérdida o ganancia de carbono en los tiempos 1995- 2005.....	58
CAPITULO V. DISCUSIONES.....	60
5.2.1 Biomasa aérea y reserva de carbono	60
5.2.2. Determinación de pérdida o ganancia de carbono en los tiempos 1995- 2005.....	61
CAPITULO VI. CONCLUSIONES.....	63
CAPITULO VII. RECOMENDACIONES	64
LITERATURA CITADA	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto invernadero y calentamiento global.....	13
Figura 2.Fracción molar del CO ₂	16
Figura 3.Incremento CO ₂ Atmosférico.....	18
Figura 4.Ciclo de carbono y las cuatro reservas.....	20
Figura 5.Diagrama de los métodos para estimar biomasa.....	24
Figura 6.Representación de las formas de crecimiento de las cuatro especies de mangles, como normalmente se encuentran guardando sucesión natural (Zonación).....	30
Figura 7.Distribución mundial de los manglares.....	33
Figura 8.Distribución de los manglares por región en México.....	36
Figura 9.Distribución de manglar en el estado de Nayarit.....	37
Figura 10. Área de estudio.....	47
Figura 11. Pasos para la realización de inventario de árboles.....	48
Figura 12. Cobertura vegetal 1995-2005.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cambios observados en el sistema climático.....	8
Tabla 2. Principales fuentes emisoras que contribuyen de manera substancial en la producción de gases, sales y partículas sólidas y líquidas (vapor de agua) distintos a los habituales en la atmósfera.....	14
Tabla 3. Clasificación de los manglares.....	31
Tabla 4. Especies de manglar en México, mismas localizadas en el área de estudio.....	34
Tabla 5. Principales respuestas esperadas de los ecosistemas costeros tropicales frente a las predicciones sobre los cambios climáticos.....	39
Tabla 6. Georeferenciación de puntos de muestreo dentro del área de estudio.....	46
Tabla 7. Ecuación para determinar la biomasa aérea.....	49
Tabla 8. Número de árboles muestreados.....	52
Tabla 9. Biomasa total por Kilogramos y megagramos.....	55
Tabla 10. Especies de mangle de la zona de estudio y datos de biomasa y carbono.....	57
Tabla 11. Cobertura biomasa y carbono	59

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Número de árboles por hectárea	52
Gráfica 2. Diámetro a la altura del pecho (DAP) máximo y mínimo de las cuatro especies de manglar.	55
Gráfica 3. Diámetro basal máximo y mínimo de las cuatro especies de manglar.	57
Gráfica 4. Relación de la biomasa total y el diámetro a la altura del pecho (DAP) de los individuos muestreados.	59

RESUMEN

El cambio climático, es uno de los problemas ambientales que actualmente tiene mayor relevancia en la población en general. Es producido principalmente por las acciones antrópicas, teniendo como consecuencia un efecto negativo en el clima de la tierra, alterando con ello la dinámica de los ecosistemas y de la vida misma, tan grave es, que las sociedades, los gobiernos e instituciones, han enfocado su atención a dicha problemática y han buscado soluciones por medio de tratados y acuerdos, para llegar a un consenso, y así lograr minimizar las causas y los efectos del cambio climático, que ya son una realidad latente. Dentro de las soluciones que se da, es el de mantener y aprovechar de manera sustentable todos los recursos naturales, principalmente los bosques, selvas y todo tipo de vegetación, ya que son una alternativa de bajo costo para reducir el contenido de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico. Dentro de los bosques de gran interés, se encuentran los manglares, debido a su capacidad que tienen para mitigar el cambio climático a partir del intercambio de CO_2 . A pesar de su importancia y de la capacidad que tiene los manglares, para ayudar a minimizar los impactos del cambio climático global, han sido poco estudiados y valorados, en lo que concierne a su función como captador y almacenador de carbono en su biomasa aérea y en el intercambio CO_2 atmosférico. El propósito de este trabajo fue, cuantificar el carbono orgánico que reserva la biomasa aérea del manglar localizado en el sistema estuarino San Cristóbal, del municipio de San Blas, Nayarit. El muestreo fue completamente al azar, seleccionando 20 parcelas, cada parcela tuvo una superficie de 100 m^2 ; para la determinación de la biomasa se utilizó la ecuación alométrica desarrollada por Komiyama *et al.*, (2005) y utilizada por Manrow *et al.*, (2012). Para esto, fue necesario obtener el diámetro a la altura de pecho (DAP) y la densidad de la madera, como datos dasométricos. Una vez obtenida la biomasa se multiplicó por el factor de conversión se utilizó un factor conservador de $0,464 \text{ g C por } 1 \text{ g}$ de biomasa, utilizado por Murdiyarto *et al.* (2009), Donato *et al.* (2011) Kauffman *et al.* (2010 y 2011) y Manrow *et al.*, (2012). Los resultados obtenidos muestran una biomasa de 2455.06 Mg ha y una reserva de carbono $1,138.96 \text{ Mg CHa}$.

ABSTRACT

Climate change is one of the environmental problems that currently take on added significance in the population in general. It is produced mainly by anthropogenic actions, resulting in a negative effect on the Earth's climate, thereby altering the dynamics of ecosystems and life itself, so serious is, that companies, Governments and institutions, have focused their attention to this problem and sought solutions through treaties and agreements, to reach a consensus, and thus achieve minimize the causes and effects of climate change, which are already a latent reality. Within the solutions, it is the maintain and sustainably exploit all natural resources, mainly forests, jungles and all kinds of vegetation, since they are a low cost alternative to reduce the content of carbon dioxide (CO₂ atmospheric). Mangroves are inside the forests of great interest, due to its ability to mitigate climate change from the exchange of CO₂. Despite its importance and capacity which has mangroves, to help minimize the impacts of global climate change, have been little studied and valued, with regard to its function as a sensor and buffer of carbon in its aboveground biomass and the atmospheric CO₂ exchange. The purpose of this study was to quantify the organic carbon that reserves the aboveground biomass of the mangrove in the estuarine system located San Cristóbal, in the municipality of San Blas, Nayarit. Was the sampling completely at random, choosing 20 plots, each plot had a surface of 100 m²; developed allometric equation was used for the determination of the biomass by Komiyama *et al.*, (2005) and used by Manrow *et al.*, (2012). For this, it was necessary to get the diameter at the height of the chest (DAP) as dato dasometric and the density of the wood. Once the biomass is multiply by the conversion factor used a conservative factor of 0.464 g C per 1 g of biomass, used by Murdiyarto *et al.*, (2009), Donato *et al.*, (2011) Kauffman *et to the.* (2010-2011) and Manrow *et al.*, (2012). The results show a biomass of 2455.06 Mgha and a reserve of carbon 1,138.96 MgCHa.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los manglares son formaciones vegetales en las que predominan distintas especies conocidas como mangle, un árbol o arbusto con ramas descendentes que llegan al suelo y se arraigan en él, tienen la particularidad de ser plantas resistentes a la salinidad del agua (CONABIO, 2008). Son considerados como ecosistemas de suma importancia, debido a sus bienes y servicios, que prestan, a nivel biológico como a la población, representan un ecosistema altamente productivo, con una gran riqueza biológica y proporcionan una gran diversidad de recursos y servicios ambientales (CONABIO,2009).

Una parte biológica y de gran interés del bosque de manglar, es el servicio que presta como sumidero de CO₂; a pesar de que sólo representan alrededor del 3% de la superficie forestal total mundial, su capacidad de almacenamiento de carbono en la biomasa forestal y carbono del suelo es mayor que la de los bosques tropicales (Alongi, 2002; Lucas *et al.*, 2007). Ya que como cualquier otro bosque, capturan, almacenan y liberan carbono como resultado de procesos de fotosíntesis, respiración y degradación de materia seca (INE, 2007).

El planeta ha perdido alrededor de 3,6 millones de hectáreas de manglares desde 1980 al 2005, lo que equivale a una pérdida alarmante del 20% del área total. Algunos estudios realizados muestran que la principal amenazas a las que se ven enfrentados los manglares son el cambio climático (especialmente el aumento del nivel del mar), los desarrollos urbanísticos, la sobreexplotación de los recursos y los cambios en el uso del suelo (Alongi, 2008; Gilman *et al.*, 2008).

El "Cambio climático" es un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (CMNUCC,1992). Se expresa fundamentalmente en el aumento paulatino de la temperatura promedio de la superficie de la tierra y de los océanos, modificaciones en los patrones de precipitación, cambios en la intensidad y/o en la frecuencia de los eventos climáticos extremos, la reducción lenta pero significativa de la criósfera, incluyendo los glaciares y en el alza del nivel de mar (IPCC, 2007a).

El incremento en los gases de efecto invernadero (GEI), debido a las actividades antropogénicas tales como cambio de uso de suelo y el uso de combustible fósiles, es la principal causa del cambio climático global. Desde el comienzo de la era industrial en 1750, la concentración atmosférica media mundial de CO₂, ha aumentado en un 41%, la del metano en un 160 % y la del óxido nitroso en un 20% (OMM, 2013).

Una manera de ayudar a disminuir el CO₂ es a través de los bosque, los cuales son los almacenes de carbono más importantes del mundo y son responsables de la mayor parte de los flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración (Rodríguez *et al.*, 2006).

El carbono dentro de los bosques se encuentra almacenado en los componentes estructurales de las plantas, en el mantillo acumulado en el piso forestal, en el material leñoso en proceso de descomposición y en el suelo mineral (Cadena, 2006).

Es transcendental determinar la importancia de los bosques de manglar, en los mecanismos del cambio climático mundial, es importante conocer y seguir la evolución del carbono almacenado, y para esto, es necesaria una estimación de la biomasa aérea. El cálculo de la biomasa es el primer paso para evaluar la productividad de los ecosistemas y la contribución de los bosques tropicales en el ciclo global del carbono (Castañeda *et al.*, 2005).

El presente trabajo se llevó a cabo en el estero San Cristóbal, ubicado en la cabecera municipal de San Blas, Nayarit, se cuantifico la biomasa y la reservas de carbono, se utilizó el método indirecto para determinar biomasa, utilizando la ecuación alométrica propuesta por Komiyama *et al.*, (2005), así mismo se determinó la reserva de carbono y se comparó en dos periodos de tiempo, para determinar la pérdida o la ganancia de biomasa y carbono dentro de la zona de estudio.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El manglar del sistema estuarino San Cristóbal, es de suma importancia, debido a las múltiples funciones que éste proporciona como bien y servicio ambiental, económico y recreativo; entre los servicios ambientales, se encuentra el de capturar y reservar CO_2 . Sin embargo las actividades humanas principalmente el incremento de los asentamientos humanos, el cambio de uso de suelo para la creación de granjas camaronícolas y para la agricultura, así como la explotación del recurso maderero, han generado una disminución en la cobertura vegetal y por ende en la biomasa y reservas de carbono, creando una problemática medio ambiental debido a la disminución en la captación y reservorio de CO_2 atmosférico, y con ello aportando grandes cantidades de CO_2 a la atmósfera.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Los bosques en general proporcionan una gran variedad de beneficios naturales que incluye la purificación del aire, protección de cuencas hidrográficas y la conservación de la biodiversidad siendo a la vez fuentes de alimento, fibra y medicina (Walker *et al.*, 2011).

Por otra parte, los bosques de manglar funcionan como una línea protectora ante la erosión del oleaje y los huracanes, tienen la capacidad de generar gran cantidad de biomasa y reservar carbono, suministran recursos maderables a las comunidades aledañas. Así mismo representan una fuente económica importante para las comunidades aledañas, que dependen de la pesca artesanal para su subsistencia (Bossi y Cintrón 1990).

En la actualidad, no existen estudios que reflejen la importancia que tiene el bosque de manglar del sistema estuarino San Cristóbal del municipio de San Blas. Los pobladores de la zona, así como las autoridades, no tienen conocimiento suficiente sobre los aportes y beneficios ecosistémicos que ofrece el manglar, aunado a esto, son escasos los estudios que revelen la importancia que tienen los bosques de manglar para ayudar a mitigar los efectos del cambio climático a partir de la captación del CO₂ y de la reserva de carbono (C), traduciéndose en carencia de información científica con respecto al conocimiento de biomasa y reservas de carbono en el mangle, debido a la falta de investigaciones puntuales.

Acorde con lo escrito, el presente trabajo contribuye en dar a conocer la biomasa aérea del bosque y así como su reserva de carbono con el fin de resaltar la importancia de los manglares del sistema estuarino San Cristóbal, el cual esta propuesta como área natural protegida; y que permita en un futuro integrar los inventarios de GEI y proponer acciones para su mitigación.

1.3 HIPÓTESIS

La cobertura de manglar del sistema estuarino San Cristóbal, se ha visto afectada en los últimos años, debido a la construcción de infraestructura turística, camaronicultura, urbanización y asentamientos humanos, por lo que representa una disminución en la biomasa aérea y por ende en las reservas de carbono.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar las reservas de carbono en la biomasa aérea del bosque de manglar en el sistema estuarino San Cristóbal, San Blas, Nayarit.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar el cambio de cobertura en los bosques de manglar ocurridos entre 1995-2005 en el área de estudio.
2. Determinar la biomasa aérea total del bosque de manglar.
3. Estimar las reservas de carbono que existe en la biomasa aérea del bosque de manglar.
4. Determinar la pérdida o ganancia de las reservas carbono (C) en el área de estudio.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cambio climático

El cambio climático se expresa fundamentalmente en el aumento paulatino de la temperatura promedio de la superficie de la tierra y de los océanos, modificaciones en los patrones de precipitación, cambios en la intensidad y/o en la frecuencia de los eventos climáticos extremos, la reducción lenta pero significativa de la criósfera, incluyendo los glaciares y en el alza del nivel de mar (IPCC, 2007a). Se encuentra catalogado como uno de los grandes desafíos de este siglo, teniendo en cuenta sus causas y consecuencias globales y la magnitud de los impactos esperados tanto en los ecosistemas como en las actividades humanas. Estas transformaciones modificarán de manera significativa los patrones actuales de producción, distribución consumo, y en general, los estilos de vida de las sociedades modernas (PNUMA, CEPAL, PNUMA/GRID-Arendal, 2010)

En la Conferencia de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas de Río de Janeiro (1992) la propuesta aprobada en la Convención Marco sobre Cambio Climático define que el cambio climático es un "Cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables". El concepto de "cambio climático", va por lo tanto asociado a consecuencias de las actividades humanas y se suma a la variabilidad natural del clima, (Del Valle, 2014). Los cambios naturales del clima son aquellos que se dan por causas naturales, de esas variaciones se pueden citar: las erupciones volcánicas, los cambios en la órbita de traslación de la Tierra, los cambios en el ángulo del eje de rotación de la tierra con respecto al plano sobre el que se traslada y las variaciones en la composición de la atmósfera (PNUMA, 2005). Todas las variaciones antes mencionadas han venido modificando de forma natural el clima de la tierra, pero en los últimos 100 años, con el inicio de la revolución industrial, la temperatura media de la superficie de la tierra aumentó en 0,74°C. Si las concentraciones del gas de efecto

invernadero en la atmósfera se duplican respecto de los niveles preindustriales, se produciría un calentamiento medio de unos 3°C (ONU, 2014).

La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su Artículo 1, define el cambio climático como "cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables".

Por su parte la OMM, (2013), el cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo del estado medio del clima y también puede deberse a factores naturales. Sin embargo, los rápidos cambios que se han producido desde mediados del siglo pasado se han debido, en gran medida, a las emisiones de gases de efecto invernadero de la humanidad en la atmósfera.

2.2 Impactos del cambio climático

Los elementos del ambiente están relacionados entre sí, alterar uno de ellos origina cambios en los restantes, algunas veces imperceptibles y otras muy evidentes (SEMARNAT, 2009).

El calentamiento en el sistema climático es inequívoco y, desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado (IPCC, 2014).

"En el informe del IPCC (2014), se llega a la conclusión de que las personas, las sociedades y los ecosistemas son vulnerables en todo el mundo, pero la vulnerabilidad es diferente en los distintos lugares. "Con frecuencia, el cambio climático interactúa con otras tensiones y así aumenta el riesgo" (IPCC, 2014). Algunos efectos que han surgido en el último siglo se ven expresado en la tabla 1.

Tabla 1. Cambios observados en el sistema climático.**CAMBIOS OBSERVADOS EN EL SISTEMA CLIMÁTICO**

Atmósfera	Los datos de temperatura de la superficie terrestre y oceánica, combinados y promediados globalmente, calculados a partir de una tendencia lineal, muestran un calentamiento de 0,85 (0,65 a 1,06) °C, durante el período 1860-2012, para el que se han producido de forma independiente varios conjuntos de datos. El incremento total entre el promedio del período 1850-1900 y el período 2003-2012 es de 0,78 (0,72 a 0,85) °C y está basado en el conjunto de datos disponible más extenso.
Océanos	El calentamiento del océano domina sobre el incremento de la energía almacenada en el sistema climático y representa más del 90% de la energía acumulada entre 1971 y 2010 (nivel de confianza alto). Es prácticamente seguro que la capa superior del océano (0-700 metros) se haya calentado entre 1971 y 2010 (véase la figura RRP.3), y es probable que se haya calentado entre la década de 1870 y 1971.
Criósfera	En los dos últimos decenios, los mermos de hielo de Groenlandia y la Antártida han ido perdiendo masa, los glaciares han continuado menguando en casi todo el mundo y el hielo del Ártico y el manto de nieve en primavera en el hemisferio norte han seguido reduciéndose en extensión (nivel de confianza alto).
Nivel del mar	Desde mediados del siglo XIX, el ritmo de la elevación del nivel del mar ha sido superior a la media de los dos milenios anteriores (nivel de confianza alto). Durante el período 1901-2010, el nivel medio global del mar se elevó 0,19 metros [0,17 a 0,21 metros]
Ciclo del carbono y otros ciclos biogeoquímicos	En los últimos 800 000 años, las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitrato han aumentado a niveles sin precedentes. Las concentraciones de dióxido de carbono han aumentado en un 40% desde la era preindustrial debido, en primer lugar, a las emisiones derivadas de los combustibles fósiles y, en segundo lugar, a las emisiones netas derivadas del cambio de uso del suelo. Los océanos han absorbido alrededor del 30% del dióxido de carbono antropogénico emitido, provocando su acidificación.

Fuente: Elaboración propia, con información de IPCC (2013).

2.2.1 Impactos en México por cambio climático

A nivel mundial México está catalogado como uno de los países más vulnerables a los efectos del cambio climático. Diversos factores naturales intervienen en ello. En primer lugar su ubicación geográfica, localizado en la zona intertropical del hemisferio norte: dos terceras partes del país están localizadas en zonas áridas o

semiáridas, mientras una tercera parte está sujeta a inundaciones; otro factor es la exposición a ciclones tropicales en sus tres márgenes costeros; tiene una diferencia en elevación de su territorio, frecuentemente se presentan diferencias en la distribución de la precipitaciones y escurrimientos durante el curso del año (Greenpeace, 2013).

Los sistemas naturales, sociales, productivos y económicos de México, son muy vulnerables ante los efectos previsibles del cambio climático. Actualmente México es uno de los países con los ecosistemas marinos más frágiles y vulnerables ante los impactos de los fenómenos naturales. Un ejemplo es la acidificación de los océanos (Greenpeace, 2013).

De acuerdo con la síntesis realizada por instituto nacional de Ecología y cambio climático (INECC, 2014), acerca de los impactos, adaptación y vulnerabilidad del cambio climático, desarrollado por el grupo de trabajo II, del Panel intergubernamental sobre cambio climático (IPPC), señala que en el caso de México se proyectan los siguientes impactos:

- En gran parte del país, excepto la zona tropical del sur mexicano, se prevé una disminución en el suministro de agua para las zonas urbanas y de riego. Esta baja disponibilidad se debe actualmente a la combinación del cambio climático, una creciente demanda y a la transferencia de este líquido a las zonas urbanas, lo que puede agudizarse en el futuro.
- Se proyecta un incremento en la severidad de las sequías en el noroeste de México, lo que puede generar un incremento de plagas y una disminución de la cobertura vegetal.
- En la costa este de los Estados Unidos de América y del Golfo de México, las proyecciones del aumento del nivel del mar estiman amenazas a los ecosistemas costeros. Se estima que el aumento de un metro en el nivel del mar daría como resultado la pérdida del 20% de los humedales y manglares de Tamaulipas y hasta el 95% de estos sistemas de Veracruz.
- Se estima que las tierras dedicadas a maíz de temporal tendrán una disminución de rendimientos de 6.2% a 3.0% en 2050. También se esperan impactos en la pérdida de diferentes razas de maíz para el año 2030. Estos impactos podrían afectar los precios de los alimentos, su acceso, y con ello, la seguridad alimentaria.

- Se prevé que los sistemas costeros y las áreas inundables de tierras bajas experimentarán impactos adversos y crecientes como inundaciones, sumersión y erosión en costas, debido al aumento del nivel del mar proyectado para la segunda mitad del siglo XXI.
- Se verá afectada la temperatura de la superficie del mar en el Caribe, Golfo de México y Pacífico Mexicano podría aumentar entre 1 y 2°C, favoreciendo las probabilidades de que los ciclones tropicales alcancen categorías mayores en la escala Saffir-Simpson. El ciclo hidrológico se volverá más intenso, es de esperar que aumente el número de tormentas severas, pero que también se puedan producir periodos de sequía más extremos y prolongados.
- Se creó, que el número de incendios forestales tiene una correlación el cambio de los patrones atmosférico, muy probablemente el número de incendios forestales incrementa.

Otra de las consecuencia del cambio climático es en la biología y en la distribución de seres vivos podría favorecer la expansión de plagas como la procesionaria o de especies invasoras. De esa manera, se distorsionará la habilidad competitiva de las especies y se modificará la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas.

La Quinta Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, publicada por SEMARNAT en 2012, identifica a la sequía como uno de los principales peligros climáticos para México. Este impacto deriva de la alteración de los patrones del régimen pluvial (mayor frecuencia e intensidad de las sequías en las regiones del centro norte del país y también lluvias torrenciales, tormentas e inundaciones en el sur y sureste).

La sequía como uno de los principales peligros climáticos para México: Este impacto deriva de la alteración de los patrones del régimen pluvial , las cuales en años recientes han afectado de manera grave al país generando pérdidas millonarias en la agricultura y dejando a gran parte de las poblaciones en zonas rurales en malas condiciones.

Se verán afectados en su distribución mayormente los pastizales, matorrales xerófilos y los bosques de encino. Para 2050, se proyecta un incremento drástico en el porcentaje afectado, ya que entre 53 y 62% de las comunidades vegetales

estarán expuestas a condiciones climáticas distintas a las actuales (Villers y Trejo, 1997).

2.2.3 Causas del cambio climático

Las sustancias y los procesos naturales y antropógenos que alteran el balance energético de la Tierra son impulsores del cambio climático (IPCC, 2013).

Existen dos causas de cambio climático natural y antropógena las causas naturales son aquellas creada por fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, las cuales proporcionan a la atmosfera gran cantidad de gases de

En el nuevo estudio "Cuantificando el consenso sobre el calentamiento global antropogénico en la literatura científica" (*Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature*) se demuestra que un 97% de los artículos científicos publicados entre 1991 y 2011 concuerdan que el calentamiento global es causado en su mayor parte por el hombre (Hoffmann, 2013).

Se le atribuye como principal causa del cambio climático, a el efecto invernadero, pero es necesario aclarar que el efecto invernadero natural como tal, no es la causa principal del calentamiento global; El calentamiento de la tierra, no es atribuido a su simple existencia; el problema radica, en la alteración de éste, debido al exceso de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, principalmente el exceso de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), como resultado de las actividades humanas, tales como la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas y gas natural) así como el aumento de la tala indiscriminada de los bosques, para utilizar la tierra con otros fines, se cree que éstas son las principales razones, del incremento en los niveles de dióxido de carbono en nuestra atmósfera. Tal como lo indica el IPCC, (2007), la variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles en la atmósfera, y las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, alteran el equilibrio energético del sistema climático, provocando así, el cambio climático.

2.3 Efecto invernadero

En 1824, el físico francés Joseph Fourier fue el primero en sugerir que la atmósfera de la tierra podría estar actuando como un aislante de cierto tipo. Hacia 1850, el físico irlandés John Tyndall fue el primero en señalar el efecto invernadero, demostrando que el vapor de agua y otros gases atmosféricos absorben el calor radiante de la tierra. En 1896, el científico sueco Svante Arrhenius fue el primero en calcular el Arrhenius predijo que si las actividades humanas incrementaban los niveles de CO₂ en la atmósfera, la consecuencia podría ser una tendencia hacia el calentamiento (National Research Council and NOAA, 2012).

El efecto invernadero es un proceso natural, que consiste en la retención por acción de ciertos gases presentes en la atmósfera, de una determinada fracción de la radiación solar que incide sobre la tierra. Del total de energía radiada por el sol que alcanza el planeta, 30% es reflejada al espacio por las capas exteriores de la atmósfera y el 70% restante alcanza la superficie de la Tierra. El planeta a su vez irradia esta energía de vuelta al espacio en forma de radiación de onda larga o infrarroja, manteniendo así el equilibrio térmico (PNUMA, 2001).

Mientras que la FAO, (1996), define el efecto invernadero como la retención de calor en la baja atmósfera debido a la absorción y a la re-radiación de las nubes y de algunos gases. La Tierra recibe su energía del sol en la forma de radiaciones solares de la onda corta (visibles) las cuales pasan a través de la atmósfera con poca o ninguna interferencia y calientan la superficie terrestre. Las radiaciones térmicas de onda larga emitidas por la superficie terrestre calentada, son absorbidas en parte por restos de elementos o por gases de "efecto invernadero" (FAO, 1996).

Si bien el efecto invernadero es un proceso natural, como lo definen algunas instituciones y autores, el aumento en los gases de efecto invernadero (GEI) ha provocado que la temperatura del planeta vaya ascendiendo gradualmente, de tal forma que la función que producen los GEI, es atrapar el calor, impidiendo su salida al espacio exterior. Estos gases transmiten calor atrapado al resto de la atmósfera provocando un incremento general en de la temperatura.

Este incremento de CO₂ en la atmósfera trae como consecuencia que a radiación electromagnética de onda larga que refleja la tierra hacia la troposfera y al espacio quede atrapada por este y otros gases lo que contribuye al calentamiento a escala global, creando un efecto de tipo invernadero en la tierra (Feely *et al*, 2001). A mayor cantidad haya de gases de efecto invernadero en la atmosfera, mayor es la energía que es capaz de atrapar, y más se calienta el planeta. El hecho cierto es que estos gases han estado aumentando desde más de un siglo y medio, desde el comienzo de la revolución industrial y a causa de ella. En las últimas décadas este incremento se está acelerando, en la figura 1, se puede observar de izquierda a derecha el efecto invernadero natural de la tierra y al lado derecho el calentamiento global causado por la alteración de los gases de efecto invernadero, que afectan la dinámica térmica de la tierra.

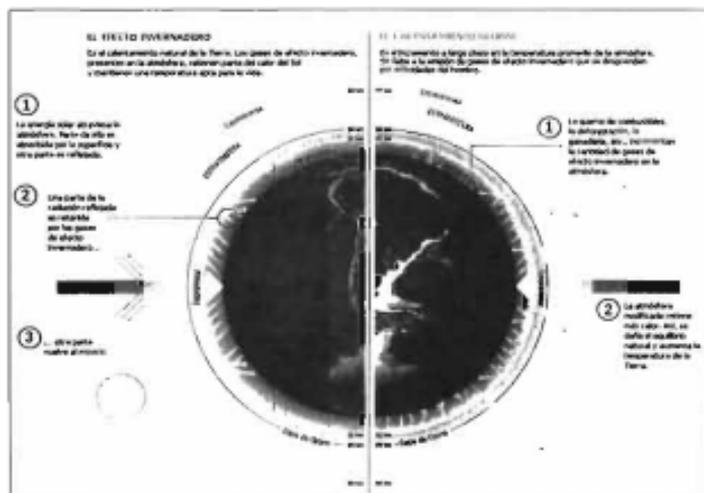


Figura 1. Efecto invernadero y calentamiento global.

Fuente: <http://www.concienciaeco.com/2012/04/09/que-es-el-efecto-invernadero/>

2.3.1 Gases de efecto invernadero

Se define a los gases de efecto invernadero como un componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la

superficie de la tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad da lugar al efecto invernadero (IPCC, 2007).

Cuatro compuestos primarios son los responsables del calentamiento global. El dióxido de carbono (CO_2), es el principal gas responsable de la tendencia del calentamiento global, se estima que 76.7% de éste gas, se encuentra presente en la atmósfera. Las dos causas principales de su incremento, es la quema de combustible fósil, (carbón, gas, antracita y petróleo), generada por las centrales eléctricas y el cambio de uso de suelo (agricultura, acuicultura y asentamientos humanos). El metano (CH_4), contribuye al calentamiento global con un 14.3%. Se produce por la descomposición bacteriana de materia orgánica y en los estómagos de algunos organismos, así mismo provienen de la deforestación y de la biomasa; El metano también proviene de la industria y otras fuentes artificiales como son los escapes de gasolina en los automóviles. El óxido nitroso (N_2O) es responsable de cerca del 7.9% del calentamiento global; se produce como un subproducto de ciertos procesos industriales, por la acción microbiana de los fertilizantes de nitrógeno, residuos del ganado y, de erupciones volcánicas. Los clorofluorocarbonos (CFC) e hidrofluorocarbonos (HFCs), junto con el ozono de nivel de tierra (O_3), se cree que son responsables del 1.1% del calentamiento global; Los clorofluorocarbonos (CFC) e hidrofluorocarbonos (HFCs), se utilizan para hacer espumas plásticas (tales como la espuma de poliestireno) y propulsores de aerosoles, además de ser utilizados como refrigerantes en acondicionadores de aire y refrigeradores.

Tabla 2. Principales fuentes emisoras que contribuyen de manera substancial en la producción de gases, sales y partículas sólidas y líquidas (vapor de agua) distintos a los habituales en la atmósfera.

Gas y otros	Principales fuentes de emisión	Peso en la atmósfera (ppm)	Contribución al calentamiento (%)
Dióxido de carbono (CO_2)	Centrales eléctricas de carbón (combustible fósiles como antracita, petróleo, gas), industrias siderúrgicas y metalúrgicas, minería.	380	76.7

	deforestación, destrucción y cambio de suelo.		
Metano (CH ₄)	Ganadería, deforestación, biomasa, agricultura, escapes de gasolina, minería.	1.5	14.3
Óxido nítrico (N ₂ O)	Combustibles fósiles, cultivos, deforestación	0.3	7.9
Clorofluorocarbonados (CFCs) e hidrofluorocarbonos (HFCs)	Refrigeración, industria petroquímicas, aire acondicionado, disolventes industriales, minería aerosoles.		1.1
Ozono de nivel de tierra (O ₃) y otros (ej. Partículas sólidas y líquidas, y sales.)	Filtración de manganeso, radiación electromagnéticas, farmaceuticos, mecánica automotriz, fotoquímicas, minería, construcciones civiles, etc.		

Fuente: Flannery, IPCC, (2007).

Las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero, a saber, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nítrico (N₂O), han aumentado desde 1750 debido a la actividad humana. En 2011, las concentraciones de estos gases de efecto invernadero eran de 391 ppm, 11,1803 ppm y 324 ppm, respectivamente, valores que excedían los niveles preindustriales en aproximadamente el 40%, el 150% y el 20% respectivamente (IPCC, 2013). El ritmo al que está creciendo esta concentración es el más alto desde que se le comenzó a dar seguimiento continuo en 1959 (Canadell *et al.*, 2007). En la figura 2, se puede observar el promedio mundial de la fracción molar del CO₂.

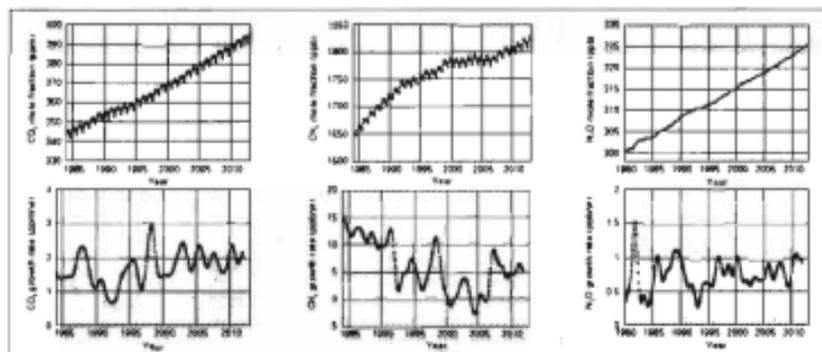


Figura 2. Fracción molar del CO₂. De izquierda a derecha el Promedio mundial de la fracción molar del CO₂, CH₄ y N₂O, a) y su índice de crecimiento b), desde 1985 hasta 2010. El índice de crecimiento medio anual se muestra mediante columnas en b) En eje horizontal: Año, en eje vertical abajo: Índice de crecimiento (ppm/año) y En el eje vertical arriba: Fracción molar (ppm).

Fuente: IPCC, 2014.

La atmósfera contiene, además, cierto número de gases de efecto invernadero enteramente antropógenos, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, contemplados en el Protocolo de Montreal. Además del CO₂, del N₂O y del CH₄, el Protocolo de Kyoto contempla los gases de efecto invernadero hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) (IPCC, 2007).

2.3.1.2 Dióxido de carbono (CO₂)

El carbono es un componente esencial para los seres vivos. En la atmósfera, el carbón se encuentra unido al oxígeno en forma de un gas, el bióxido de carbono (CO₂), que mediante la fotosíntesis, es obtenido del aire para producir alimento a partir del carbón, necesario para el crecimiento de las plantas (Isanza y Campos, 2007). Existe en su mayor parte como dióxido de carbono en la atmósfera, los océanos y los combustibles fósiles (carbón petróleo y otros hidrocarburos) (Palomino y Cabrera, 2008).

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro, denso y poco reactivo. Forma parte de la composición de la tropósfera (capa de la atmósfera más próxima a la Tierra). Su ciclo en la naturaleza está vinculado al del oxígeno (Raynaud *et al.*, 1993).

Es el gas de efecto invernadero más abundante en la atmósfera, después del vapor de agua. Su presencia en el planeta se debe a procesos naturales y efectos de actividades antropogénicas (Isanza y Campos, 2007).

Por otra parte el dióxido de carbono (CO₂) es un GEI clave y los cambios en el ciclo mundial del carbono que afectan la concentración atmosférica de CO₂ son cruciales para el clima mundial (FAO, 2013).

El CO₂ es considerado el elemento que más contribuye al efecto invernadero acentuado (artificial). Los científicos del clima han observado que las concentraciones en la atmósfera del dióxido de carbono (CO₂) han aumentado significativamente a lo largo del presente siglo, en comparación al nivel más constante de la era pre-industrial.

La concentración de CO₂ para el año 2012 fue 394 ppm, estaba a punto 40% más que a mediados de la década de 1800, con un promedio crecimiento del 2 ppm/año en los últimos diez años. De acuerdo con el comunicado de prensa publicado por la OMM en el año 2013, sobre los Gases de Efecto Invernadero, la cantidad de CO₂ en la atmósfera a escala mundial alcanzó 393,1 partes por millón en 2012, es decir, un 141% del nivel preindustrial de 278 partes por millón; por su parte la NOAA-ESRL indicaron que para Mayo del año 2015, el nivel de CO₂ atmosférico incrementó a 404.11 ppm, superando a las cifras de años anteriores, tal como se muestra en la figura 3. Siendo el gas de efecto invernadero más importante emitido como consecuencia de actividades humanas, tales como la quema de combustibles fósiles y la deforestación. En general, es responsable de más del 60% del efecto invernadero intensificado. En los países industrializados, el CO₂ representa más del 80% de las emisiones de gases invernadero.

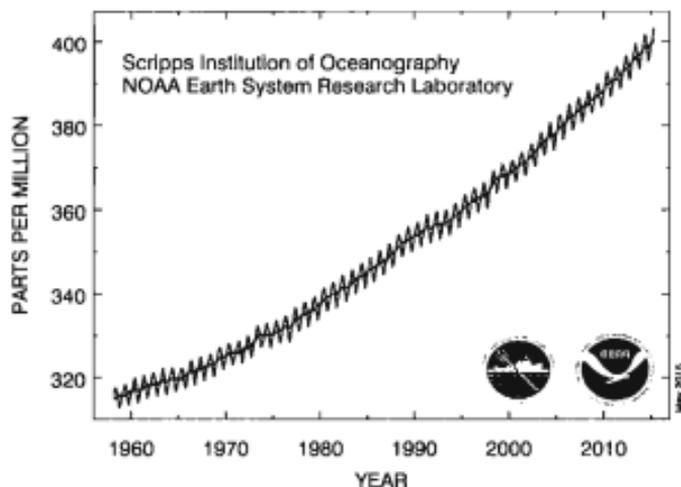


Figura 3. Incremento CO₂ Atmosférico. La curva roja muestra los datos de dióxido de carbono (curva roja) , medido como la fracción molar de aire seco por C. David Keeling de la Institución Scripps de Oceanografía en Marzo de 1958; La curva de negro representa los datos corregidos estacionalmente por NOAA hasta mayo 2015. **Fuente:** NOAA/ESRL, 2015

Avendaño *et al.*, (2006), menciona que las fuentes de dióxido de carbono se clasifican en tres: Las naturales, en las cuales la liberación es a través de los fenómenos tectónicos, de la respiración, de la descomposición de la materia orgánica e incendios forestales. Las segundas son las fuentes antropogénicas como son la quema de combustibles fósiles y producción de cemento las cuales han emitido 270 Gt de C (1Gt = 109 t) en forma de CO₂, los cambios de uso de suelo han emitido 130 Gt de carbono, la deforestación y la combustión de compuestos con carbón. La tercera fuente son los reservorios, que consisten en la absorción de CO₂ por las aguas oceánicas, los organismos marinos (fitoplancton), los organismos terrestres (bosques) y el suelo.

Si bien el CO₂ juega un papel antagónico como precursor del cambio climático realmente no lo es del todo, esté gas es de suma importancia para las plantas y para la vida misma, ya que el dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera es absorbido por las plantas, convertido en carbohidratos y tejidos a través del

proceso de fotosíntesis, como parte del ciclo del carbono (Lapeyre *et al.*, 2004). La importancia del CO₂ y el vapor de agua en la atmósfera para la regulación de la temperatura del planeta es tal que sin su presencia la temperatura promedio actual del planeta sería aproximadamente 33°C más fría y, por lo tanto, el planeta estaría congelado (Schlesinger, 1997).

2.4 Ciclo global del carbono

Para comprender la dinámica de acumulación e intercambio de gases de efecto invernadero (GEI) los componentes del sistema planetario como la atmósfera, la biosfera, la litósfera, la hidrosfera y la edafósfera, es indispensable comprender el funcionamiento del ciclo global del carbono identificando sus fuentes, flujos y almacenes (Ordoñez, 2008).

El ciclo global de carbono, es uno de los ciclos biogeoquímicos más importante y puede ser dividido como su nombre lo dice en componentes geológicos y biológicos. El ciclo del carbono geológico funciona en una escala temporal de millones de años, mientras que el ciclo biológico funciona en una escala temporal más corta (Harrison, 2003). Es una serie de procesos de transformaciones del carbono a lo largo del tiempo. Es un ciclo de gran importancia para la regulación del clima en la Tierra, regula la transferencia de carbono entre la atmósfera y la litósfera (océanos y suelo).

La atmósfera contienen actualmente unos 780 Gt de carbono, prácticamente todo en forma de CO₂. Los océanos almacenan 40000 GtC y los sistemas terrestres contienen unos 2000 GtC, gran parte almacenado en los suelos (1500 Gt). Como consecuencia de la manipulación de los ecosistemas, aproximadamente la mitad del carbono en los suelos ha sido transferida a la atmósfera, debido a procesos agrícolas (Isanza y Campos, 2007). El análisis del ciclo del carbono muestra que en la atmósfera se encuentran cantidades muy pequeñas, pero sumamente activas y vulnerables ante perturbaciones ocasionadas por el hombre, las cuales modifican el clima y los patrones climáticos, afectando directamente la vida sobre la tierra (Odum & Barret, 2008)

Este ciclo describe los intercambios de carbono entre las cuatro reservas naturales de este elemento, que son: la atmósfera, los océanos, los sedimentos

fósiles y la biosfera terrestre, de los cuales depende la regulación del clima en el planeta figura 4.

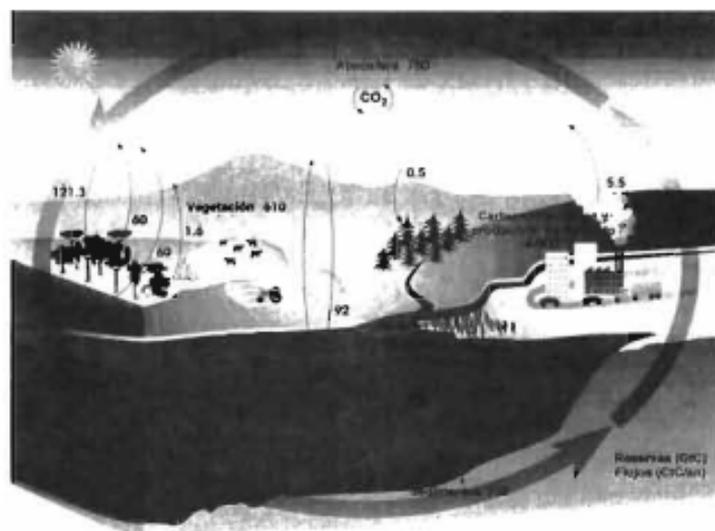


Figura 4. Ciclo del carbono

Fuente: NASA Earth Science Enterprise.

2.5 Sumidero de carbono

Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático o (CMNUCC) un sumidero es "Cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera". El proceso por el que se forman los sumideros de carbono recibe el nombre de secuestro de carbono (Chopra *et al.*, 2005)

Por su parte el IPCC, (2007) lo define como cualquier proceso, actividad o mecanismo que resulta en la eliminación neta de la atmósfera de los gases con efecto invernadero.

En el marco del Protocolo de Kioto, se refiere a sumidero de carbono, a la eliminación de carbono de la atmósfera inducida por ciertas actividades en el sector de uso de la tierra, cambio de uso del suelo y silvicultura.

Los bosques tienen la posibilidad de mitigar GEI por medio de la captura de carbono que se realiza en diferentes ecosistemas vegetales conocidos como sumidero, a pesar de ser, fuentes netas de emisión de GEI (Ordóñez, 1998 y 1999). La vegetación forestal y los suelos contienen aproximadamente la mitad del carbono terrestre del planeta y los ecosistemas terrestres tienen el potencial para retener más CO₂ que en la actualidad (FAO, 2013). 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 carbono; pero si por el contrario la cantidad de carbono que se emite es menor de la que se almacena, entonces se considera sumidero neto de Carbono (Harrison, 2003)

El potencial de absorción de carbono mediante actividades de forestación/reforestación depende de la especie, el lugar y el sistema de ordenación y, por consiguiente, es muy variable. Los índices normales de absorción, expresados en toneladas de carbono (tC) por hectárea y año, en el trópico es de 3,2 a 10 tC (Brown, 1996).

2.6 Captura de carbono

Es el proceso de fijación de carbono en forma continua en cualquier sistema de uso de la tierra como consecuencia de alguna intervención sobre áreas degradadas o en proceso de degradación. Estas intervenciones pueden ser programas de manejos de suelos con reforestación, Agroforestería o conservación de suelos. Se expresan en t/ha/ año (Palomino, 2007).

También se define como la absorción del dióxido de carbono presente en la atmósfera, ya sea mediante procesos biológicos (por ejemplo, la fotosíntesis en plantas y árboles, véase Secuestro biológico) o procesos geológicos (por ejemplo, acumulación de dióxido de carbono en reservorios subterráneos) (Department of Climate Change, 2008). Otro tipo de definición, proceso de aumentar el contenido de carbono de un reservorio distinto de la atmósfera (Chopra *et al.*, 2005).

2.7. Reserva de carbono

Es un sistema con capacidad de acumular o emitir carbono. Las reservas de carbono son medidas en términos de masa (por ejemplo: toneladas métricas de carbono). Los árboles en particular, almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida. Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% de flujo anual de carbono entre atmósfera terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre atmósfera y el suelo (Dixon *et al.*, 1994; Ordóñez, 1999). Los principales almacenes de C en los ecosistemas forestales son la vegetación, el mantillo y el suelo. Dos terceras partes del carbono en ecosistemas forestales se encuentra contenido en el suelo (Ordóñez, 1999).

2.8. Biomasa

El resultado de la fotosíntesis es la producción primaria, la cual es incorporada a los tejidos. Este proceso se manifiesta a través del crecimiento y se expresa como peso seco o biomasa (Mac Donald, 2005)

La biomasa es definida como masa de la materia orgánica viva o muerta de un organismo, expresada en masa de materia seca. Para un árbol, la unidad de medida es el kg o sus múltiplos. Por extensión, la biomasa de una zona es la suma de las biomásas de los organismos que se encuentran en esa zona (Picard *et al.*, 2012). La biomasa viva puede ser separada sobre el suelo (hojas, ramas y tallo) (aérea) y componentes bajo el suelo (raíces). (Walker *et al.*; 2011). La biomasa sobre el suelo corresponde a todo el material vegetal sobre el suelo del bosque, lo que incluye árboles vivos, muertos, ramas, hojas y arbustos (Yale, 1999).

La cantidad de biomasa se expresa mediante su peso en seco o mediante su contenido de energía, de carbono o de nitrógeno, es generalmente expresado en unidades de toneladas métricas (t) (IPCC, 2007).

Es utilizado como parámetro que caracteriza la capacidad de los ecosistemas para acumular materia orgánica a lo largo del tiempo (Brown 1997, Eamus *et al.* 2000). La distribución de la biomasa en los componentes de un árbol permite

conocer cómo se comporta la acumulación de nutrientes, los reservorios de carbono, la producción primaria neta y cómo es que algunos factores como la luz, el agua y la densidad influyen en el crecimiento (Fournier *et al.*, 2003). Diferentes condiciones del lugar, así como las propiedades del suelo y las condiciones topográficas también pueden causar diferencias en la distribución de la biomasa (Magnani *et al.*, 2000)

Mediante la estimación de la biomasa sobre el suelo se puede estimar el almacenamiento de carbono y a la vez las emisiones de isoprenos, monoterpenos y otros compuestos orgánicos volátiles, ya que existen factores de emisión que se pueden asociar a la biomasa foliar (Escobedo *et al.*, 2002).

2.8.1 Estimación de la biomasa

El cálculo de la biomasa es el primer paso para evaluar la productividad de los ecosistemas y la contribución de los bosques tropicales en el ciclo global del carbono (Castañeda *et al.*, 2005).

Por lo tanto, la estimación de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes y, representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera, o conservado y fijado en una determinada superficie cuando los bosques son manejados para alcanzar los compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero (Brown *et al.*, 1996).

La inferencia del contenido de carbono en el ecosistema, parte de la estimación de la biomasa contenida, la cual está dada principalmente por la relación existente entre esta y la cantidad de carbono contenido cuyo valor corresponde aproximadamente al 50%, relación que se asume en la práctica para las estimaciones (Pearson *et al.*, 2005).

Los principales componentes en donde los árboles almacenan la biomasa son: a) fuste o tallo principal, b) ramas vivas, c) ramas muertas, d) follaje, e) corteza, f) estructuras reproductivas, y g) raíces, todas expresadas en términos de peso seco (Castellanos *et al.*, 1996).

No existe "un" método único para estimar una reserva de biomasa sino varios, según la escala considerada (Gibbs *et al.*, 2007); se utilizan principalmente dos métodos para estimar la biomasa: el método directo y el indirecto, de los cuales se desglosan tres técnicas para calcular la biomasa:



Figura 4. Diagrama de los métodos para estimar biomasa.

2.8.1.1. Método directo o destructivo

Es una técnica en que todos los árboles se talan cortando en secciones y componentes (troncos, corteza, hojas, ramas), se seca y posteriormente son pesados. Según Brown (1996) éste proceso consume gran cantidad de tiempo y recursos. Es considerado muy intensivo y no puede ser reproducido a gran escala debido al gran impacto que generaría. Es el más preciso (omite errores de estimación) para estimar la cantidad de biomasa aérea (Monroy y Návar, 2004). Según Brown *et al.*, (1989) la medición de la cantidad de biomasa aérea en cualquier componente de un ecosistema requiere la aplicación del método destructivo ya que este método proporciona un valor exacto de la biomasa.

2.8.1.2. Métodos indirectos

Por otra parte los métodos indirectos, consisten en la cubicación del volumen de madera en el tronco y las ramas del árbol vivo (estos consiste en no derribar árboles), son más prácticos, son rápidos, se mide mayor número de árboles,

reduciendo así el error de muestreo, en comparación con el muestreo destructivo (Hairiah *et al.*, 2001). Se suman los volúmenes de madera, se toman muestras de ésta y se pesan en el laboratorio para calcular los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad o densidad específica (Segura, 1997).

2.8.1.3. Método tradicional o de Factor de expansión de biomasa (BEFs: Biomass expansions factors).

Los factores de expansión de la biomasa son simplemente coeficientes que permiten convertir el volumen de la madera (habitualmente expresada en m³) de un árbol o de una masa forestal en su conjunto en el peso de materia seca del árbol o de la masa (habitualmente expresado en toneladas).

Este método, se basa en los datos del volumen comercial (a partir de información básica de inventarios), la densidad básica de la madera y el factor de expansión de la biomasa (FEB). Puede aplicarse en los bosques densos, secundarios o maduros (correspondiente a climas húmedos y semiáridos) (Brown, 1997a).

La biomasa se estima a través de siguiente ecuación general:

$$BA = VC \cdot D \cdot FEB$$

Dónde:

BA = Biomasa aérea (t/ha)

VC = Volumen comercial (m³)

D = Densidad básica de la madera (t/m³)

FEB = Factor de expansión de la biomasa.

2.8.1.4. Modelos Alométricos

El método más común en la determinación de la biomasa son las ecuaciones alométricas. Dichas funciones estiman las relaciones dadas entre la biomasa total con la que cuenta el árbol y algunas de sus dimensiones como suelen ser las más comúnmente utilizadas: altura, diámetro normal o área de albura (Acosta *et al.*, 2002) así como el diámetro a la altura del pecho (dap), diámetro a la altura del tocón (dat), altura comercial (hc), altura total (ht) y combinaciones de ellas

(Gayoso *et al.*, 2002). La elaboración de ecuaciones de biomasa puede realizarse a partir de métodos destructivos y métodos no destructivos.

Por otro lado, las ecuaciones de estimación de biomasa son relaciones entre el peso seco de biomasa y alguna variable medida sobre el árbol o que representa las condiciones del sitio donde dicho árbol vive.

En la mayoría de los trabajos realizados en zonas tropicales se ha encontrado que la variable independiente que mejor explica la biomasa de un árbol es el diámetro a la altura del pecho (Overman *et al.*, 1994; Regina, 2000), al igual que en zonas templadas (Chave *et al.*, 2001). Muchos autores lo consideran por ser de fácil medición y además lo utilizan multiplicado por otras variables o expresando bajo algún tipo de transformación.

De este modo las ecuaciones alométricas, que permiten predecir la biomasa de un árbol a partir de las características dendrométricas más fáciles de medir (como su diámetro o su altura) son elementos clave para estimar la contribución de los ecosistemas forestales al ciclo del carbono (Picard *et al.*, 2012 /FAO, 2012).

2.9. Humedales

Los humedales son ecosistemas complejos que actúan como interface entre los hábitats terrestres y los acuáticos (Leleuvre *et al.* 2003). Son sistemas intermedios entre ambientes permanentemente inundados y ambientes normalmente secos. Muestran una enorme diversidad de acuerdo con su origen, localización geográfica, su régimen acuático y químico, vegetación dominante y características del suelo o sedimentos. Puede existir una variación considerable en un mismo humedal y entre diferentes de humedales próximos unos a otros, formando no sólo ecosistemas distintos, sino paisajes totalmente diferentes (Finlayson y Moser, 1991, Contreras, 2007). Los humedales son especialmente vulnerables a los cambios climáticos (Marín *et al.*, 2006).

En el texto de la Convención (Artículo 1.1) se define a los humedales como:

"extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros".

Convención RAMSA, considera que los humedales, cumplen funciones ecológicas fundamentales como reguladores de los regímenes hidrológicos y como hábitat de fauna y flora características, especialmente de aves acuáticas; además de los beneficios que brinda con esos recursos y otros a la humanidad.

La vegetación en los humedales se considera como la comunidad biológica más importante tanto a nivel funcional como estructural (Mitsch y Gosselink, 2000).

Los humedales costeros, en particular los manglares, brindan una gran variedad de servicios ambientales: son zonas de alimentación, refugio y crecimiento de juveniles de crustáceos y alevines, por lo que sostienen gran parte de la producción pesquera, son utilizados como combustible (leña), poseen un alto valor estético y recreativo, actúan como sistemas naturales de control de inundaciones y como barreras contra huracanes e intrusión salina, controlan la erosión y protegen las costas, mejoran la calidad del agua al funcionar como filtro biológico, contribuyen en el mantenimiento de procesos naturales tales como respuestas a cambios en el nivel del mar, mantienen procesos de sedimentación y sirven de refugio de flora y fauna silvestre, entre otros (CONABIO, 2008)

De acuerdo con Barrera (2011), Uno de los ecosistemas naturales más amenazados del planeta son los manglares, que a pesar de su reconocida importancia por albergar una gran cantidad de especies y ser uno de los ambientes más productivos del planeta, son poco valorados. Estos ecosistemas han sufrido procesos de transformación con diversos fines, y su desconocimiento y manejo inadecuado constituyen algunos de los principales problemas que atentan contra su conservación en México (CONAGUA, 2012).

Los manglares al igual que los humedales, se ven amenazado; las principales amenazas de los manglares son la tala inmoderada, motivada por la ampliación de la frontera agrícola-ganadera, la destrucción ocasionada por el desarrollo de centros turísticos y urbanos, así como la construcción de granjas camaronícolas y la actividad petrolera.

2.10 Generalidades de los Manglares

El mangle es un árbol característico de humedales costeros de zonas tropicales. Estos ecosistemas pasan gran parte del año inundados por agua salina, ya que están asociados a las mareas. Se clasifican como humedales estuarinos (Moreno-Casasola *et al*; 2009).

Según CONABIO (2008), define como mangle a un árbol o arbusto con ramas descendentes que llegan al suelo y arraigan en él, y tienen la particularidad de ser plantas resistentes a la salinidad del agua.

La Norma (NOM-022-SEMARNAT-2003) en su numeral 3.40 define al manglar de la siguiente forma: Comunidad arbórea y arbustiva de las regiones costeras tropicales y subtropicales, compuestas por especies halófitas facultativas o halófilas que poseen características ecofisiológicas distintivas como raíces aéreas, viviparidad, filtración y fijación de algunos tóxicos, mecanismos de exclusión o excreción de sales.

Los manglares se desarrollan en las planicies costeras de los trópicos y subtropicos, principalmente alrededor de esteros y lagunas costeras, cerca de las desembocaduras de ríos y arroyos (CONABIO, 2012). Ocupan apenas el 3% de la superficie terrestre y están disminuyendo constantemente (Valiela *et al.*, 2001). Se presentan en 124 países en los trópicos y subtropicos, el 48% de la superficie mundial de manglares se encuentra distribuido en sólo cinco países-Indonesia, Australia, Brasil, Nigeria y México (FAO, 2007).

Los bosques de manglar están constituidos por especies arbóreas capaces de soportar frecuentes periodos de inundación y elevadas salinidades gracias a estructuras peculiares como los pneumatóforos o raíces aéreas que les permiten oxigenar la zona radicular de los sedimentos anóxicos de las marismas. Estas condiciones permiten que se desarrollen en las líneas costeras y en zonas generalmente cercanas a las desembocaduras de los ríos y canales de agua dulce (Jiménez & Sauter, 1991).

Los resultados de estudios publicados en Nature Geoscience estiman que la deforestación del manglar puede generar emisiones de 0,02-0,12 Pg de carbono por año – alrededor del 10 % de las emisiones procedentes de la deforestación

global, a pesar de que estos bosques constituyen sólo el 0,7 % de la superficie ocupada por bosques tropicales (Donato *et al.*, 2011), siendo así la segunda mayor fuente de CO₂ después de la combustión de combustibles fósiles.

Con la protección y restauración de manglares, marismas saladas y hierbas marina, se puede obtener una reducción de un 7 % del dióxido de carbono, lo suficiente para mantener por debajo las concentraciones atmosférica que actualmente son de 450 ppm (Nellemann *et al.*, 2009).

Según un artículo publicado en la revista avance y perspectiva del CINVESTAV Merida, (2014), el investigador Herrera Silveira hizo énfasis en qué, "El manglar capta el bióxido de carbono que está en la atmósfera y lo almacena en sus estructuras y las lleva hasta el llamado sedimento, es decir, prácticamente lo entierra y ahí se queda por mucho tiempo". A diferencia de lo que sucede con el bióxido de carbono que es procesado en los bosques, en donde parte de lo que almacenan, regresa a la atmósfera y más cuando esos bosques se queman. Por esa razón, cuando se toman muestras de los suelos de los bosques, se observa carbono en profundidades de 15 a 20 centímetros, mientras que en el manglar puedes encontrar almacenes de carbono a más de dos metros de profundidad.

2.10.1. Zonación y estructura del manglar.

De acuerdo con Rabinowitz (1978), la zonación en manglares es el producto de la influencia de la marea en la distribución por tamaños de los propágulos (tidal sorting) mientras estos flotan. La distribución por marea de los propágulos propuesta por Rabinowitz (1978), a pesar de estar cuidadosamente apoyada por evidencia experimental no siempre es tan evidente. Esta hipótesis no ha sido demostrada en los manglares más diversos del mundo, en donde no parece haber una relación entre el tamaño del propágulo y la distribución de la especie (Tomlinson, 1986).

La zonación puede ser consecuencia conjunta del potencial de dispersión de sus propágulos, de la respuesta de las especies a factores abióticos y de las interacciones competitivas intraespecíficas (López & Ezcurra, 2002).

Como lo describe Pinto - Nolla, (1999), la fisionomía, zonación y sucesión de las especies de manglar, dependen de su distribución geográfica, geomorfológica,

tipo de suelo, microtopografía, nutrientes, clima, influencia de la marea y del agua dulce, de los procesos biológicos como la competencia, facilitación, depredación asociaciones entre otros.

La figura 6, muestra un patrón clásico de zonación de los manglares subtropicales, con el mangle rojo ubicado en una zona donde la inundación mareal es casi continua, el mangle negro ubicado sobre el nivel mínimo diario de bajamar, lo que implica una inundación frecuente, y, ascendiendo topográficamente, el mangle blanco, casi siempre soportando inundación mareal muy limitada, el botoncillo y el mangle dulce, ambos en la zona de influencia costera pero rara vez inundada por el mar.

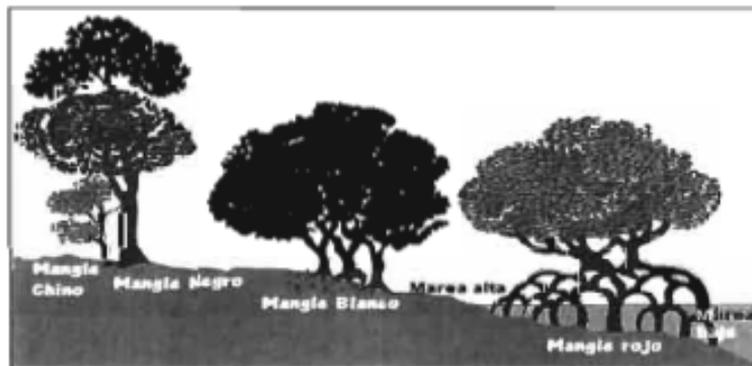


Figura 5. Representación de las formas de crecimiento de las cuatro especies de manglares, como normalmente se encuentran guardando sucesión natural (Zonación). De izquierda a derecha: *Conocarpus erectus* (botoncillo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Avicennia germinans* (mangle negro) y *Rhizophora mangle* (mangle rojo).

Fuente : http://cienciasgrado7.blogspot.mx/p/cultura-del-mar-grado-7_17.html

Los ecosistemas de manglar exhiben una gran variabilidad en su estructura que corresponde a los parámetros medio ambientales, físico y químicos del agua y del sustrato en donde crecen. En estos factores se incluyen concentraciones de nutrientes aportados por los ríos o escurrimientos terrígenos, precipitación e

intensidad de evaporación, nivel topográfico, frecuencia y períodos de inundación por la marea, y composición del sedimento (Gaona-Pineda, 2007).

Las características de la estructura, la productividad y la exportación de detritus a lo largo de un gradiente de hidrología y nutrientes definen cada uno de los tipos de manglar. Por lo tanto la biomasa, la altura, la producción de hojarasca y la descomposición se incrementa del manglar chaparro al ribereño (Twilley, 1999).

Los manglares se clasifican según su ubicación dentro del estuario, ya que ello implica un ambiente diferente que los afecta en su crecimiento y en la dominancia de una especie sobre otra. Se reconocen cuatro tipos de manglar ver en tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de los manglares.

Tipo de manglar	Ubicación
Manglar de borde o marginal.	Se ubica en la orilla de los espejos de agua de las lagunas generalmente salobres, o se están en islas o costas en contacto con el mar puede inundarse directamente con cada marea alta. Esta dinámica de mareas constituye un lavado diario que no permite un desarrollo denso, ni manglares muy altos, y por lo general estos manglares no sobrepasan los 15 m. Domina el manglar rojo (<i>Rhizophora mangle</i>). En México son comunes en costas de baja energía protegidas, es decir con poco oleaje, lo cual se produce cuando hay barreras arrecifales que protegen la costa, como en Quintana Roo.
Manglar ribereño.	Se establece a la orilla de los ríos y riachuelos costeros donde el aporte de agua dulce domina. Ello hace que los flujos de agua sean intensos y ricos en nutrientes, y por tanto la altura de estos manglares puede ser de hasta 20 m, o más. Domina el manglar rojo.
Manglar de cuenca.	Se establece en la planicie de inundación de una laguna costera, alejada del espejo de agua y más bien cercana a tierra firme del continente. Se inunda eventualmente por lluvia o por embalse cuando se eleva el nivel de la laguna, pero el agua no fluye sino que permanece retenida y se va filtrando o evaporando. Este manglar tiene una altura de casi 10 m. Domina el manglar negro (cuando es más salino) o el manglar blanco (cuando predominan condiciones con mayor influencia de agua dulce).
Manglar arbustivo o enano	Es aquel que se encuentra en medios extremos (altas salinidad, suelos pobres, viento e inundación constante), y parece un matorral. Su altura varía de 1.5 a 3 m, aunque en suelos con salinidades altas los árboles adultos pueden llegar a tener una altura de 50 cm.

Fuente: Elaboración propia con base a información de INECOL.

2.10.2. Dispersión

Los manglares son las únicas plantas verdaderamente vivíparas, en las cuales las semillas se mantienen fijadas a la planta madre y germinan formando un embrión ("propagulo") antes de caer del árbol.

Rabinowitz (1978) cuestionó la explicación tradicional de que cada especie ocupa la zona fisiológicamente óptima a lo largo del gradiente ambiental y que estos gradientes son directamente responsables por las zonas de vegetación. Sus investigaciones mostraron que el tamaño del propágulo y la longitud del hipocótilo son factores importantes que condicionan la dispersión de los manglares. Las plántulas con hipocótilos más largos tenderán a establecerse en aguas más profundas, en tanto que las plántulas con hipocótilos más pequeños se establecerán en aguas más someras.

La dispersión de la especie de mangle se desarrolla a partir de sus estructuras flotantes, como son sus diásporas (Semillas) con reservas de aire, lo que permite su transporte a través del agua. Los propágulos (embriones) de mangle rojo son alargados y puntiagudos, con una longitud entre 25 y 60 cm, son de rápida germinación cuando llegan al sustrato, y tienen una viabilidad de 12 meses; En el mangle negro, el fruto es una cápsula con forma de elipse, de hasta 4 cm, cubierta por una estructura carnosa y esponjosa, que se abre en dos valvas, la germinación ocurre cuando el embrión se encuentra todavía encerrado dentro del fruto, formándose una plántula antes de la caída del fruto del árbol progenitor; Así, las plántulas, y no las semillas, flotan y son dispersadas por el agua y los animales. (Moreno- Casasola & Infante, 2009). En el mangle blanco el fruto es una drupa ovoide o nuececilla, ligeramente comprimida y con costillas a lo largo. Por lo general el fruto cae y la radícula brota después de pocos días. Este mangle rebrota fácilmente cuando se corta, aunque los rebrotes tienen una forma pobre. Los árboles mejor formados provienen de semillas. Las técnicas de acodo son exitosas en la producción de raíces, después de 5 a 6 meses (Moreno- Casasola & Infante, 2009)

Esta dispersión no es igual para todas las especies de manglar, tal es el caso de *conocarpus erectus*, según Tomlinson (1986), no es un mangle verdadero (pues no tiene raíces especializadas y las semillas no germinan en la planta) y es más bien una especie asociada a los manglares, pero es un componente muy importante de los manglares en particular. En México *conocarpus erectus*, es considerado un mangle, posee pequeños frutos en forma de conos redondos de

color púrpura o marrón; Producen muchas semillas que se llaman nuececillas y son aladas, ya que tienen forma de escamas con pequeñas alas. Son muy pequeñas y miden 1 a 3 mm de largo.

2.10.3. Distribución mundial, Nacional y estatal de los manglares

Según datos de la FAO (2007), en el mundo existen 15.2 millones de hectáreas de mangle, distribuidos a lo largo de los litorales de las regiones tropicales y subtropicales, en las denominadas "zonas intermareales", entre los 25 grados norte y 25 grados sur de latitud. Por su parte Giri *et al.*, (2010), Spalding *et al.*, (2010) estiman entre 14- 15 millones de hectáreas de manglar a nivel mundial, distribuidas en 118 a 123 países y territorios. Esta cobertura representa el 0.7% de los bosques tropicales a nivel mundial.

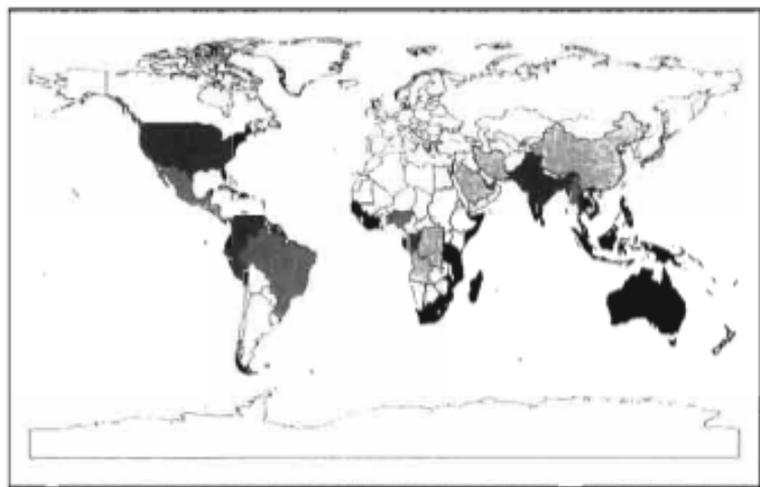


Figura 6.Distribución mundial de los manglares. **Fuente:** FAO, 2007.

Chapman (1976) estima que los manglares representan el 75% de las costas tropicales del mundo.

En el mundo se conocen 54 especies de mangle, distribuidas en 20 géneros y pertenecientes a 16 familias (Tomlinson, 1986). Mientras que CONABIO, (2005), establece que en el mundo se conocen 69 especies de mangles. Por su parte

Spalding *et al.* (2010) indican que en el mundo se reportan alrededor de 70 especies de manglar. Su centro de diversidad es la región Indo-Pacífico, donde Giesen *et al.* (2007) registraron 52 especies de mangle y 268 especies que pueden ser encontradas tanto en manglares como en otros ambientes. En el continente americano sólo hay alrededor de 10 especies, los géneros más representativos son *Rhizophora*, con raíces arqueadas que sirven de soporte, *Avicennia* y *Laguncularia* ambas con raíces respiratorias (neumatóforos) que brotan del suelo. En México se pueden encontrar al menos cinco especies de mangle: mangle negro (*Avicenniagerminans*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) y mangle amarillo (*Rhizophora harrisonii*). Pero predominan principalmente cuatro especies de mangle (Ver descripción en la tabla), *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Avicennia germinans* (mangle negro, madre de sal) y *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo). Es común encontrarlas asociadas, en un proceso sucesorio dependiendo del nivel de las mareas que las inundan o los bañan, pero estableciendo dominancia de una especie o de una asociación predominante de dos o tres especies dependiendo del lugar en donde se hayan asentado (CONABIO, 2008).

Tabla 3. Especies de manglar en México, mismas localizadas en el área de estudio.

Especies	Características generales	Características reproductivas	Producción de propágulos	Floración
<i>L. racemosa</i> (mangle blanco)	Soporta salinidad elevada, provocando esto floración temprana de copa angosta, neumatóforos más gordos en comparación con los de mangle negro.	Presenta flores masculinas y femeninas (en árboles diferentes) también en la misma flor, pueden presentar flores masculinas y femeninas (hermafroditas) o en el mismo árbol puede haber flores	flores y (en árboles diferentes) pueden flores y	De agosto a octubre y en febrero Abril a junio

masculinas en la parte de arriba (néctar) y femeninas en la parte de abajo (lóvres). Ramas o partes del árbol pueden dar origen a otra planta.



C. erectus
(Mangle botoncillo)

Se encuentran en suelos arenosos, adaptadas a altas temperaturas, baja salinidad y material orgánica en el suelo.

Las ramas o partes del árbol pueden dar origen a otra planta, presenta flores lilas (femeninas) parecido a plantas terrestres

El 80 % de la semilla no es viable

Todo el año siendo intensa de octubre a diciembre.

En el Inventario Nacional de Manglares, que coordinó la CONABIO (2008), se estimó que la superficie de manglar en México fue de 655.7 miles de ha entre los años 2005 a 2007. Por su parte la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), en su infografía publicada en el 2014, estima que, México cuenta con una cobertura vegetal de más de 138 millones de hectáreas, lo que representa el 70% del territorio nacional, de las cuales, aproximadamente 866,561 ha pertenecen a bosque de manglar, lo que representa tan sólo el 0.6% de la cobertura vegetal existente en el país.

Se encuentra distribuido en 17 estados con litoral dentro de la República Mexicana. En las costas del Golfo de México, se encuentran desde la Laguna Madre (Tamaulipas) hasta la parte sur de Quintana Roo, pero tienen su desarrollo máximo en diversidad y estructura en los estados de Tabasco y Campeche (Lot-Helgueras, 1994). En las costas del Pacífico están distribuidos irregularmente: se les encuentra localizados en los límites de la Península de Baja California y en todos los estados desde Sonora hasta Chiapas (Lot y Novelo, 1990; Ramírez-García y Lot, 1994).

La Región Península de Yucatán contiene el 55% (423,751 ha) de la extensión de manglares en México, seguida por la región Pacífico Norte con 24.5% (188,900 ha). Las regiones Golfo de México y Pacífico Sur contienen 11% (84,442 ha) y

8.6% (66,374 ha), respectivamente. La región Pacífico Centro es la que menor extensión de manglar contiene con un 0.9% (6,590 ha). A nivel estatal, Campeche es el que posee la mayor superficie de manglar del país (25.2%), seguido por Quintana Roo (16.9%), Yucatán (12.9%), Sinaloa (10.5%) y Nayarit (9.3%).

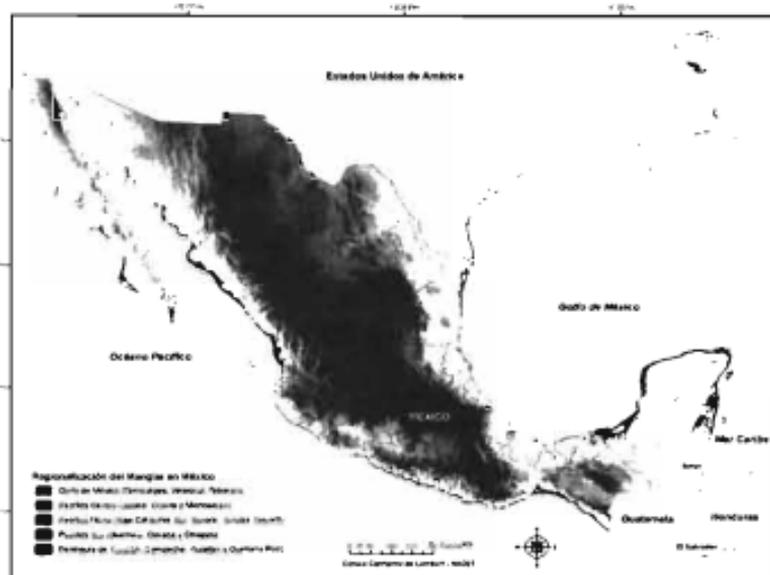


Figura 7. Distribución de los manglares por región en México.

Fuente: <http://www.conabio.gob.mx>

Los estados con menor cobertura fueron Michoacán (0.2%), Jalisco (0.3%) y Baja California (0.004%).

El estado de Nayarit ocupa el quinto lugar en cobertura de manglar, con una superficie territorial de 9.3 % y con una extensión de 71,742ha, distribuidas en seis cuencas hidrológicas las cuales son: río Cañas, Acaponeta, Bejuco, Santiago y San Blas (CONABIO, 2002).



Figura 8. Distribución de manglar en el estado de Nayarit.

Fuente CONABIO (2002).

2.10.4. Importancia Ecológica, económica, social y ambiental de los manglares

Es bien conocida la importancia de los bosques de mangles y el papel que tienen a lo largo y ancho de las zonas tropical y subtropical del planeta en todo lo referente al manejo de zonas costeras (Menéndez, 2013).

De acuerdo con la CONABIO (2009 a) "los manglares brindan una gran variedad de servicios ambientales: son zonas de alimentación, refugio y crecimiento de crustáceos juveniles y alevines, por lo que sostienen gran parte de la producción pesquera, son utilizados como combustible (leña), poseen un alto valor estético y recreativo, actúan como sistemas naturales de control de inundaciones y como

barreras contra huracanes e intrusión salina, además controlan la erosión y protegen las costas, mejorando la calidad del agua al funcionar como filtro biológico, contribuyen en el mantenimiento de procesos naturales tales como respuestas a cambios en el nivel del mar, mantienen procesos de sedimentación y sirven de refugio de flora y fauna silvestre, entre otros. En nuestro país los manglares han sido afectados principalmente por la tala o remoción que se ha llevado a cabo para abrir paso a las actividades agrícolas, ganaderas, acuícolas y turísticas.”

Por su parte WWF (2012), se reconoce al manglar como sumidero de carbono ya que pueden transferir y almacenar carbono dentro de la planta y en sus sedimentos, a tasas muy superiores a los de los bosques terrestres. Dittmar *et al.*, (2006), indica que los manglares secuestran hasta 25,5 millones de toneladas de carbono por año y aportan más del 10% del carbono orgánico esencial para los océanos del mundo. Estos bosques constituyen un sistema abierto que importa y exporta materiales; precisamente la alta productividad y la alta concentración son los aspectos que le confieren al manglar tanta importancia en la ecología de las zonas costeras (Blasco, 1991). Son considerados de los ecosistemas más productivos del planeta, por mantener una rica y compleja cadena alimenticia, se caracterizada por una elevada producción pesquera (Rajonson, 1995); Por lo tanto, la seguridad alimentaria de muchas comunidades costeras, está estrechamente vinculada, con la protección, la salud y el cuidado de los ecosistemas de manglar. Además, estos sitios juegan un papel importante en el ciclo de vida de especies de aves, peces, crustáceos, moluscos y otros organismos (Jiménez, 1994).

En los manglares desovan y viven en alguna etapa de su vida más de 1,200 especies, el 70% de estas son de interés comercial (Niembro *et al.*, 2004).

Otra de las importancias es el equilibrio en la zona costera impidiendo el avance de la intrusión salina, conteniendo la erosión costera y reduciendo el riesgo ante los daños que puedan causar a la población, infraestructura productiva y cultivos agrícolas, así como de eventos naturales tales como marejadas, tormentas tropicales y huracanes (Menéndez, 2013).

Por esta razón forman parte de los ecosistemas más importantes en la mitigación del cambio climático (Lafolley y Grimsditch 2009, Kauffman 2010, Bouillon 2009 y 2011, Donato *et al.* 201).

2.10.5. Efectos del cambio climático global en el ecosistema de manglar

De acuerdo con McLeold y Salm (2006), los efectos del calentamiento global sobre los manglares están relacionados con los cambios de temperatura promedio del aire y del océano, de las concentraciones de CO₂ atmosférico, de los regímenes de precipitación huracanes y tormentas, descongelamiento de la criósfera y el aumento del nivel del mar. La acción sinérgica de estas variables, sumada a las amenazas antropogénicas, altera la capacidad de resiliencia de los ecosistemas de manglar. Algunos autores (Field, 1995, IDEAM, 2001; Desantis *et al.*, 2007) hacen énfasis en estudiar el aumento del nivel del mar, ya que consideran que ésta es la mayor amenaza que el ecosistema de manglar. En la tabla 5. Se describe las principales respuestas esperadas de los ecosistemas costeros tropicales frente a las predicciones sobre los cambios climáticos.

Tabla 4. Principales respuestas esperadas de los ecosistemas costeros tropicales frente a las predicciones sobre los cambios climáticos.

INCREMENTO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR

La comunidad de manglar progredirá tierra adentro si hay suficiente ambiente sedimentario y sin obstáculos topográficos.

La erosión sobre el margen litoral se incrementará.

El rango del nivel medio del mar determinará el nivel de restablecimiento de los manglares, dunas y humedales costeros.

La productividad secundaria (y primaria acuática) se incrementará por la mayor disponibilidad de nutrientes debido a la erosión y la suspensión.

INCREMENTO EN LA CONCENTRACION DE CO₂ ATMOSFERICO

La fotosíntesis del follaje de los manglares no se incrementará significativamente.

La eficiencia de los manglares en el uso del agua se mejorará. Esto puede o no verse reflejado en el crecimiento.

No todas las especies de manglares responderán de igual manera.

INCREMENTO EN LA TEMPERATURA (°C) ATMOSFERICA

Algunas poblaciones de manglares extenderán su distribución hacia latitudes mayores.

En muchas especies de manglares habrá cambios en los patrones fenológicos, reproductivos y

de crecimiento.

Se incrementará la productividad neta global del ecosistema de manglar.

La biodiversidad de plantas y animales en los manglares se incrementará (beneficios de microclima) y cambiará la composición florística y faunística.

Se acelerarán los procesos microbianos en los manglares, en la interfase agua-sedimento.

CAMBIOS EN EL PATRÓN DE LLUVIAS

Los cambios en el contenido de agua del suelo y salinidad del sustrato tendrán un impacto significativo sobre el crecimiento de los manglares.

Un incremento de la precipitación sobre la tasa de evapotranspiración incrementará la tasa de producción primaria de los manglares.

Un incremento en la salinidad del suelo reducirá la productividad primaria y crecimiento de los manglares.

La fauna eunhalina no se verá afectada por el incremento en salinidad pero la distribución de especies estenohalinas se alterará significativamente.

IMPACTO ESPERADO DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS SOBRE EL USO DEL SUELO, UTILIZACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LOS MANGLARES

Se incrementará el riesgo de inundación de tierras bajas.

Se incrementará la erosión de los litorales blandos vulnerables.

Se incrementará el riesgo de intrusión salina.

Se incrementará la frecuencia del daño causado por tormentas.

2.10.6. Normas y leyes que protegen al manglar en zonas costeras mexicanas

Con las modificaciones a la ley, existe un mejor marco normativo en cuanto al manejo y protección de las especies de manglar ya que, "Queda prohibida la remoción, relleno, trasplante, poda, o cualquier obra o actividad que afecte la integridad del flujo hidrológico del manglar; del ecosistema y su zona de influencia; de su productividad natural; de la capacidad de carga natural del ecosistema para los proyectos turísticos; Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje; o bien de las interacciones entre el manglar, los ríos, la duna, la zona marítima adyacente y los corales, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos", tal como establece la ley de vida silvestre, bajo el artículo 60 TER; así mismo la NOM-059 SEMARNAT-2010 establece bajo la categoría de "amenazadas" a las cuatro especies de manglar: *Rhizophora mangle*, *Avicennia*

germinans, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*. Por su parte la NOM-022 SEMARNAT-2003, establece las especificaciones para la prevención, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zona de manglar, así mismo especifica que, el manglar deberá preservarse como comunidad vegetal.

2.11 Revisión de bibliografía

Existen diferentes trabajos realizados a nivel nacional sobre estimación de biomasa aérea y captura de carbono, solo que la mayoría de ellos están enfocados a bosques forestales de pino y encino, los cuales han sido abordados a su extensión ya sea de carácter local, estatal, regional; en cuanto a reservas de carbono en biomasa aérea de manglar existen unos cuantos estudios que a continuación se describen:

Vázquez-Lule (2013), en su trabajo de tesis para obtener el grado de Maestra en Geomática, llamado estimación de biomasa aérea y parámetros estructurales en los manglares de Laguna Pom Atasta, Campeche y Laguna Agua Brava, Nayarit, México, con imágenes de radar ALOS PALSAR, realizó una exploración a la respuesta de parámetros biofísicos de NDVI, EVI y LAI con series de tiempo de productos MODIS, para identificar la condición de la vegetación de manglar en un período de nueve años. También realizó la exploración de la estimación de biomasa vegetal por arriba del suelo a partir de datos de campo e imágenes de radar Alos PALSAR.

Rojas (2011), realizó un estudio llamado "Estimación del contenido y potencial de carbono en biomasa aérea, en el área natural protegida marismas nacionales Nayarit, México", el estudio consistió en estimar el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea por hectáreas (MgC ha^{-1}), así como estimar el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea por cobertura vegetal (MgC), y calcular la captura de carbono expresada en $\text{Mg-CO}_2\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ para cada tipo de cobertura vegetal. Se registró que la selva mediana aporta el mayor contenido de carbono almacenado por hectárea con 120 MgC ha^{-1} y una captura potencial de $8.8 \text{ MgCO}_2\text{year}^{-1}$, seguido del manglar con un almacén de 102 MgC ha^{-1} y captura de $6.9 \text{ MgCO}_2\text{year}^{-1}$, la selva baja espinosa tiene un almacén

de 50.61 MgCha^{-1} y captura potencial de $1 \text{ MgCO}_2\text{year}^{-1}$ y el palmar de 42.27 MgCha^{-1} y cuyo potencial de captura es $0.8 \text{ MgCO}_2\text{year}^{-1}$, mientras que ecosistemas menos productivos como el pastizal y la vegetación halófila presentaron un almacén de carbono de 9 MgCha^{-1} y capacidad de almacenar de $0.43 \text{ MgCO}_2\text{year}^{-1}$ y aquellos con algún grado de alteración como la selva baja con vegetación secundaria y pastizal inducido mostraron 8.03 y 7 MgCha^{-1} respectivamente, con un potencia de captura de 0.33 y $0.61 \text{ MgCO}_2\text{year}^{-1}$.

Moreno *et al.*, (2010) realizaron un estudio llamado Estimación del potencial de captura de carbono en suelos de manglar de isla del Carmen, en el cual evaluaron el potencial de captura de carbono en el suelo del ecosistema de manglar en dos sitios ubicados a las orillas de la Laguna de Términos, concluyendo que los suelos arenosos y neutros, con asociaciones de mangle rojo, tienen un buen potencial de captura de carbono.

Moreno *et al.*, (2002) realizaron un estudio llamado, los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono; el objetivo del estudio fue cuantificar las reservas de carbono, caracterizar física y químicamente y clasificar taxonómicamente a los suelos orgánicos con vegetación natural de mangle, de parte oeste de tabasco, México. El estudio arrojó un primer estimado del contenido de carbono Orgánico en Histosoles con vegetación de mangle, don la cantidad de carbono almacenado es mayor a la registrada en otras investigaciones realizadas en otras regiones con diferentes usos de suelo.

Valdez *et al.*, (2005) realizó un estudio en el estado de Nayarit donde evaluó el carbono orgánico en los primero -20 cm del suelo en los manglares de Marismas Nacionales, Nayarit, por asociación y clase de geoforma.

La mayoría de los estudios realizados en México se encuentran enfocados específicamente hacia las reservas de carbono en suelos de los ecosistemas de manglar, en menor proporción hacen referencia a la biomasa aérea de éste bosque. Con la realización de estos estudios, es evidente que los suelos de manglar son un gran reservorio de carbono atmosférico a comparación de otros suelos con otra cobertura vegetal.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

3.1.1 Localización del área de estudio

El sistema estuarino San Cristóbal, se localiza en el municipio de San Blas, en el estado de Nayarit, tiene una superficie de 5,733 ha. Se localiza entre las coordenadas geográficas $21^{\circ}30'46.17''$ y $21^{\circ}39'27.34''$ Latitud Norte y los $105^{\circ}16'29.23''$ y $105^{\circ}11'37.26''$ Longitud Oeste. El centro aproximado del sitio es $21^{\circ}34'56''$ N y $105^{\circ}14'36''$ Oeste. (CONANP, 2007). Sus límites son, al norte la "Boca de Asadero" que es la desembocadura del Río Santiago y al sur la "Boca del Borrego" donde se encuentra el Estero de San Cristóbal. El límite territorial es, al norte con la margen izquierda del Río Santiago, al sur se encuentran los poblados de San Blas, las Islitas y la Tovará, y hacia el sur-este se encuentran las marismas "Zopilota", "Zoquipa" y "La Chayota", además del estero "El Conchal" (INEGI, 1994).

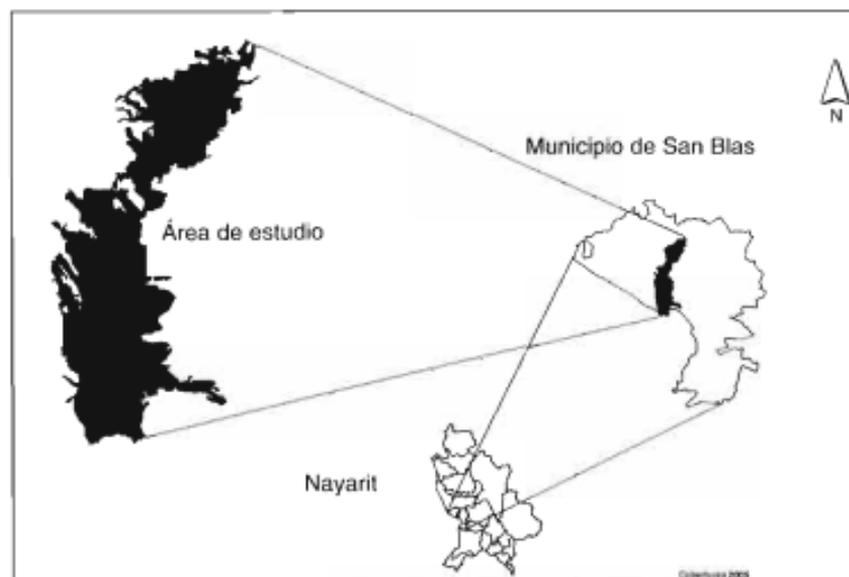


Figura 10. Ubicación del área de estudio.

3.1.2 Aspecto generales del área de estudio

3.1.2.1 Regiones hidrológicas y fisiográficas

El sistema estuarino san cristobal se encuentra conformado por las regiones hidrológicas y fisiográficas. Las regiones hidrológicas dentro de las que sitúa el estero san cristobal son Lerma- Santiago (RH12) ubicada en toda la parte central y este del estado de Nayarit, con 11,977.97 km² Y Huicicila (RH13), en el lado suroeste, con 3,553.66 km², dentro del sistema hídrico de la zona de San Blas (RH 13c), (INEGI, 2000). La provincia fisiográfica Planicie Costera Noroccidental y el Eje Volcánico Transversal (Rzedowski, J., 1983). Así mismo I

3.1.2.2 Suelo

Los suelos dominantes en el sistema lagunar estuarino del San Cristóbal son: el Leptosol y Cambisol asociados con misceláneos rocosos; seguido de los Solonchak gléicos y sódicos, los cuales están asociados en la llanura de inundación ordinaria y extraordinaria. Mientras que en las unidades de origen marino (barras paralelas) se encuentran suelos arenosos entre los que destacan los Regosoles y Arenosoles. (UAN, 2000)

3.1.2.3 Clima

El régimen climático reportados en la zona de estudio, van de cálido a subhúmedo con lluvias en verano. La mayor humedad ocurre en un 49.80% de la superficie municipal y el resto es de humedad media (INEGI, 1994). De acuerdo con los registros de la estación climatológica de San Blas, la temperatura media anual es 25.7 grados centígrados, siendo febrero el mes más frío (21.9° C) y agosto, el más cálido y húmedo (29.1°C). El promedio mensual de las temperaturas mínimas, el valor más alto (22.7° C.) se registra en el mes de agosto, y el más bajo (12.8° C) en enero (UAN, 2000).

3.1.2.4 Vegetación

Los principales tipos de vegetación que se encuentra en el área de estudio son manglar, vegetación halófito, selva mediana subcaudicifolia con palmar y

algunos manchones de selva baja caudicifolia con elementos de bosques espinosos y vegetación de dunas costeras (Valdez, 2004).

3.1.2.5 Población

La población ubicada alrededor del área de estudio según datos del INEGI, (2010), es de un total de 43, 120 habitantes, siendo la cabecera municipal San Blas, la que tiene mayor población con 10,187 habitantes lo que equivale a un 62 %, de los 43, 120 habitantes que tiene el municipio.

3.1.2.6 Vías de comunicación

El área de estudio se encuentra comunicada principalmente por 267.20 Km. de red carretera, que conectan al municipio de San Blas, con varias de sus localidades, con el estado y caminos rurales, la carretera que los conecta es la 54 junto con la México 76. Por mar es posible llegar a San Blas y al sistema estuarino, ya que cuenta con instalaciones portuarias para medianas y pequeñas embarcaciones, además de playas de oleaje tranquilo para el calado de veleros (UAN, 2000).

3.2 MÉTODOS

3.2.5 Determinación de biomasa aérea

El tipo de investigación que se utilizó para la determinación de la biomasa fue de tipo transversal, descriptivo y correlacional.

3.2.2 Selección de puntos de muestreo

Debido a la homogeneidad de la zona, se utilizó el método de muestreo al azar simple. Se definieron 20 zonas de muestreo ubicadas en el sistema estuarino San Cristóbal, las áreas de muestreo se eligieron con base a la dominancia de las cuatro especies de manglar, mismas que se pueden encontrar como una sola especie o combinaciones de las cuatro especies. Se determinó su posición central mediante un georeferenciación satelital (GPS). La ubicación geográfica de las parcelas seleccionadas se muestra en la tabla 6.

Tabla 1. Georeferenciación de puntos de muestreo dentro del área de estudio.

No.	Nombre de la parcela	Coordenadas X	Coordenadas Y	Especies dentro de parcela	Árboles muestreados
1	El mirador	472720	2382421	<i>C. erectus</i>	48
2	Rastro	474297	2383323	<i>L. racemosa</i> , <i>R. mangle</i>	7
3	Frente de basurero	475257	2385053	<i>L. racemosa</i> <i>A. germinans</i> <i>R. mangle</i>	42
4	Frente mirador	472757	2383003	<i>L. racemosa</i>	61
5	Portón	474463	2383179	<i>Rhizophora mangle</i>	13
6	Frente portón	474186	2381646	<i>L. racemosa</i> , <i>A. germinans</i> <i>R. mangle</i>	31
7	La Granjita	472151	2382630	<i>L. racemosa</i> <i>A. germinans</i>	30
8	Balera	47183472	28212129	<i>L. racemosa</i>	63
9	La Conchilla	47336325	238194653	<i>L. racemosa</i>	34
10	Chacalilla I			<i>L. racemosa</i>	131
11	Chacalilla II			<i>A. germinans</i> , <i>C. erectus</i>	35
12	Tijera II-I	472908	2385072	<i>Laguncularia racemosa</i> , <i>Rhizophora mangle</i>	14
13	Tijera II-II	472817	2384746	<i>L. racemosa</i> , <i>R. mangle</i>	20
14	Tijera II-III	472802	2384274	<i>L. racemosa</i> , <i>R. mangle</i>	28

				<i>racemosa, Rhizophora mangle</i>	
14	Tijera II-III	472802	2384274	<i>Laguncularia racemosa, Rhizophora mangle</i>	28
15	Tijera II-IV	472762	2385601	<i>Laguncularia racemosa, Rhizophora mangle</i>	43
16	Tijera I-I	473228	2383675	<i>Laguncularia racemosa, Rhizophora mangle</i>	24
17	Tijera III	472983	2383328	<i>Laguncularia racemosa, Rhizophora mangle</i>	13
18	Tijera I-III	472644	2383192	<i>Laguncularia racemosa, Rhizophora mangle</i>	21
19	Tijera I-IV	472289	2388452	<i>Laguncularia racemosa, Rhizophora mangle</i>	35
20	Tijera I-V	471974	2382773	<i>Rhizophora mangle</i>	30
Número total de especies muestreadas:					723



Figura 11. Puntos de muestreo dentro del área de estudio

3.2.4 Inventario de árboles

Para el inventario de árboles debido a la homogeneidad de la zona, se utilizó el método de muestreo al azar simple. Con ayuda de ortofotos digitales, mapas de uso de suelo y vegetación, así como de visitas de campo se seleccionaron 20 sitios de muestreo distribuidos en el área de estudio, en cada uno de ellos se realizó un inventario sobre cada una de las parcelas de 100 m², cada parcela se midió con ayuda de una cuerda previamente medida con cinta métrica. Se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1,30 m del suelo de cada individuo mayor o igual a 5 cm ($d \geq 5$ cm) (Manrow *et al.*, 2012). En el caso *R. mangle* que tiene raíces aéreas, la medición se realizó 30 cm, arriba de la raíz más alta, de acuerdo con Murdiyarsa *et al.* (2009) y Manrow *et al.*, (2012). Se estimó el dato de altura con ayuda de un clinómetro, y la metodología de ángulo por elevación, en donde la altura total es igual a la distancia por la tangente del ángulo alfa más la altura del ojo. En el caso de las coberturas de copas densas se realizó la medición de la altura mediante la estimación visual, ver en la figura 12, se determinó la especie de mangle, para todos los árboles seleccionados. Cuando un árbol presentó varios tallos, se midió cada uno y se tomó como individuo separado. Se consideraron especies de mangle a todos los árboles de *R. mangle*, *A. germinans*, *L. racemosa* y *C. erectus*, (Manrow *et al.*, 2012).



Figura 12. Pasos para la realización de inventario de árboles.

3.2.5 Determinación de biomasa aérea

La estimación de biomasa a partir de relaciones alométricas se fundamenta en que parte de la tasa de crecimiento de los organismos es proporcional a otro

atributo, en este sentido para el caso de árboles, el diámetro del tronco de un individuo puede ser altamente relacionado con su peso, de manera que si el rango de variación en los diámetros de los árboles es medido, a partir de una ecuación de regresión se puede estimar la biomasa de cada uno de ellos (Komiya, *et al.* 2008).

Para la determinación de la biomasa, se usó la ecuación desarrollada por Komiya *et al.*, (2005) y utilizada por (Manrow, *et al.*, 2012), la cual utiliza como variables independientes la densidad de la madera por especie y el diámetro del árbol (DAP), (ver ecuación tabla.7).

El cálculo de la biomasa aérea (i.e., tronco, ramas, hojas) fue estimada por medio del método alométrico, un método no destructivo que permite estimar parte o la biomasa total de un árbol por medio de ecuaciones alométricas ajustadas para distintas especies o géneros (Manrow, *et al.*, 2012).

Tabla 1. Ecuación para determinar la biomasa aérea.

Especies	Ecuación Komiya <i>et al.</i> (2005)	r ²	Densidad de la madera (g/cm ³)	Diámetro cuadrático
<i>L. racemosa</i>			0.762	27.45
<i>A. germinans</i>	$Bt=0,251p \cdot D^{2,46}$	0.954	0.759	26.75
<i>R. mangle</i>			0.80	28.86
<i>C. erectus</i>			1.00	23.69

Bt = Biomasa total arriba del suelo (Kg/árbol)

p= densidad de la madera por especie: *Rhizophora mangle*: 0,80 (Richter y Dallwitz, 2000). *Laguncularia racemosa*: 0,762 y *Avicennia germinans* 0,759 (MARENA, 1994). *Conocarpus erectus*: 1.00 (Global Wood Density Databas, 2009) D = Diámetro a 1,30 m del suelo o arriba de la raíz más alta.

3.2.6 Cuantificación de las reservas de carbono

La cuantificación de la reserva de carbono se realizó únicamente en la biomasa aérea (Ba) de los fustales del manglar ($d \geq 5$ cm), de acuerdo con Pearson *et al.*, (2007) y Manrow, *et al.* (2012).

Una vez que se obtuvo la biomasa en megagramos (1 Mg = 1 ton), esta se multiplicó por un factor de conversión para obtener el contenido de carbono. En este estudio se utilizó un factor conservador de 0,464 g C por 1 g de biomasa, utilizado por Murdiyarso *et al.* (2009), Donato *et al.* (2011) Kauffman *et al.* (2010 y 2011), y Manrow, *et al.*, (2012).

3.2.7 Análisis de cobertura vegetal

Para el análisis de la cobertura se realizó un diseño de investigación longitudinal.

Los cambios de cobertura y uso del terreno se analizaron a partir de la interpretación de ortofotos digitales de los años 1995 y 2005. La interpretación se realizó en pantalla en forma visual con apoyo de un software (arc view 3.5), y con ayuda de cartografía, fotografías aéreas escala 1:50000 y trabajo de campo, para determinar la pérdida o ganancia de mangle, en el área de estudio. (Melo y Camacho, 2005).

El análisis se realizó en cuatro etapas:

- Preparatoria: Consistió en recabar información bibliográfica y cartográfica disponible para el área de estudio.
- Fotointerpretación: Con apoyo de fotografías aéreas se realizó la interpretación de ortofotos digitales sobre la pantalla, se realizaron trazos de límites del tipo de cobertura, y se diseñó y obtuvo la leyenda preliminar, de acuerdo al sistema de clasificación.
- Campo: Se hizo la verificación de los límites de cobertura y uso del suelo, se definieron los sitios de muestreo.
- De oficina: Se analizó la información recabada en campo, se reinterpretó los límites de cobertura de manglar, se hizo el proceso de ajuste en las fotografías en base a los datos recabados en campo. Se digitalizó el mapa y bases de datos con los respectivos ajustes ya verificados.

Para determinar el número de hectáreas de manglar en los dos periodos, en la base de datos del software arc view 3.5, se agruparon los polígonos correspondiente a la cobertura de manglar y se sumaron las hectáreas

hectáreas de ambos tiempos (1995-2005), se procedió a hacer el análisis comparativo de la cobertura de manglar.

3.2.8 Determinación de pérdida o ganancia de carbono en los tiempos 1995-2005

Con ayuda de la base de datos, obtenida a partir de los polígonos trazados en las ortofotos digitales del área de estudio, se determinó el total de hectáreas de manglar existente para cada tiempo (1995-2005); el cálculo de la ganancia o pérdida de manglar entre ambos periodos de tiempo, se hizo a partir de una diferencia; una vez obtenido el dato total, fue multiplicado por el total de la reserva de carbono obtenida para cada hectárea, determinando así el total de carbono existente en el periodo de 10 años.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Determinación de la biomasa

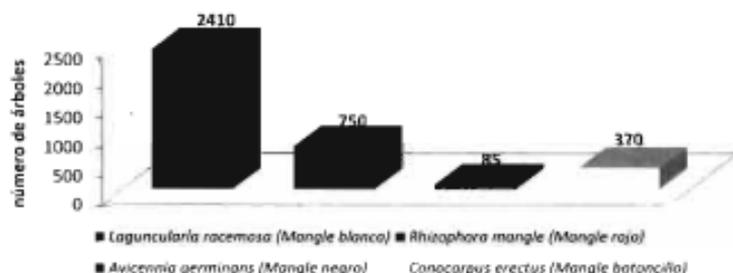
En total se muestrearon 723 árboles de los cuales 482 árboles pertenecen a la especie *L. racemosa* (mangle blanco), 150 a *R. mangle* (Mangle rojo), 74 a *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo) y 17 pertenecen a *A. germinans*, de las 20 parcelas, dos parcelas muestreadas presentaron zonación mono-especificas (*L. racemosa* y la otra *R. mangle*), dos más presentaron zonación tri-especifica , mientras las 17 parcelas restantes presentaron zonación bi-especifica.

Tabla 7. Número de árboles muestreados.

Especie	Número de árboles muestreados
<i>L. racemosa</i> (Mangle blanco)	482
<i>R. mangle</i> (Mangle rojo)	150
<i>A. germinans</i> (Mangle negro)	17
<i>C. erectus</i> (Mangle botoncillo)	74
Total de árboles	723

El sistema estuarino San Cristóbal presenta en promedio 3,615 árboles/ha. La especie de mayor dominancia, dentro del área de estudio es *L. racemosa* (Mangle blanco), siendo *A. germinans* (Mangle negro) la especie con menor dominancia.

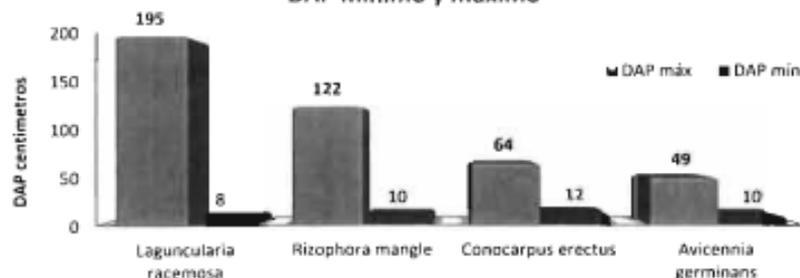
Número de árboles por hectárea



Gráfica 1. Número de árboles por hectárea.

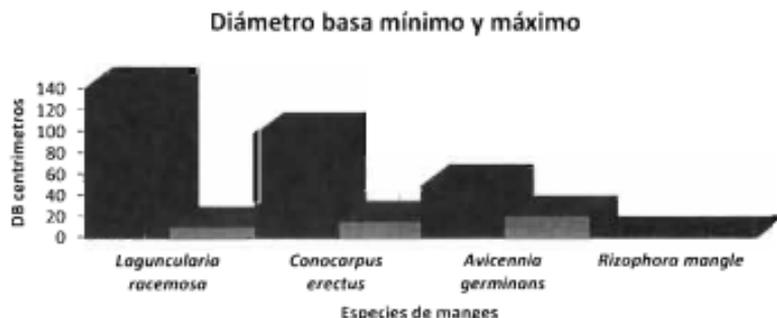
En cuanto a la estructura del bosque, el DAP que registró *L. racemosa* fue mínimo 8 cm y como máximo 195 cm con una altura total que iba de los 1.75 -11.8 m. *R. mangle* en la medición del DAP, mostró como mínimo 10 cm y valor máximo de 122 cm; de altura promedio que se registró fue de 9.72 m, *C. erectus* tiene un DAP máximo de 64 cm y un mínimo de 12 cm, la altura promedio fue 7.12 m y *A. germinans* tiene 49 cm de DAP máximo y un mínimo de 10 cm la altura registrada fue de 12.21m.

DAP mínimo y máximo



Gráfica 2. Diámetro a la altura del pecho (DAP) máximo y mínimo de las cuatro especies de manglar.

Así mismo se obtuvo el diámetro basal (DB), por cada especie muestreada, excepto la especie *R. mangle*, del cual sólo se obtuvo el DAP, el DB mínimo de *L. racemosa* fue de 10 cm, el máximo 140 cm, siendo ésta la especie con el diámetro basal más ancho, seguido por *C. erectus* con un DB de 98 y un mínimo de 15 cm. Ver gráfica 3.



Gráfica 3. Diámetro basal máximo y mínimo de las cuatro especies de manglar.

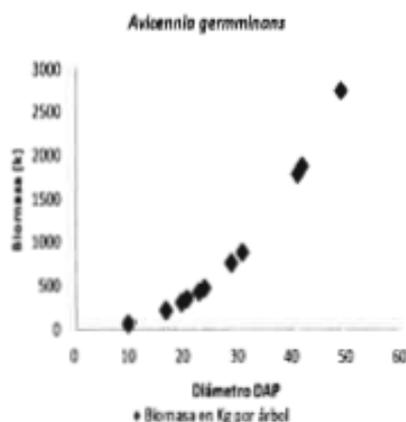
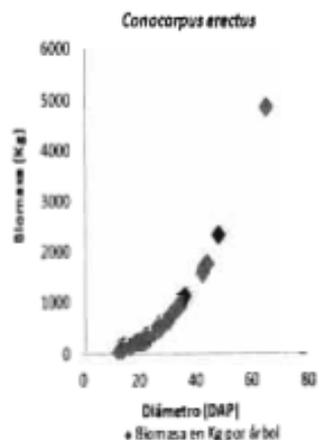
Determinado el DAP y el DB, se realizó el cálculo de biomasa; se tiene que la especie que mayor biomasa genera es *R. mangle* (Mangle rojo) con un promedio total de 0.7854 Mg, ó 785.40 kg de biomasa por cada árbol, seguido de *A. germinans* (Mangle negro) con 0.7807 Mg 780.76 kg de biomasa por árbol; mientras que *C. erectus* (Mangle botoncillo), es la especie que menos biomasa produce, ya que, en promedio cada árbol se obtiene 0.5524 Mg ó 552.45 kg.

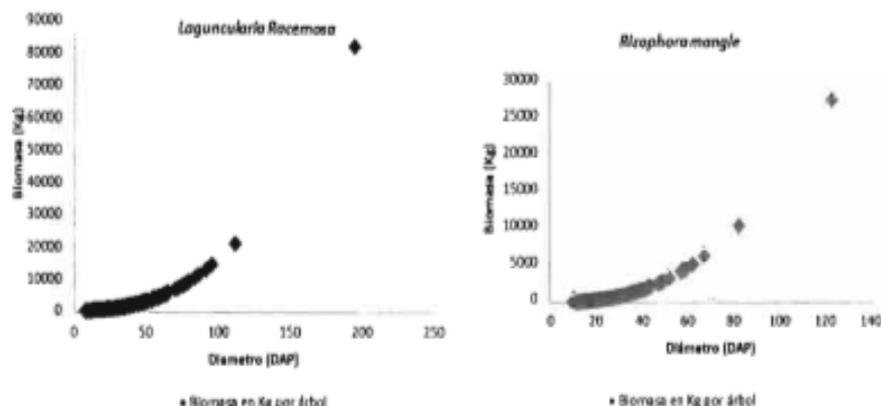
Cabe señalar que *L. racemosa* (Mangle blanco), es la especie que más biomasa proporciona en el área de estudio, debido a su dominancia en la zona. Ver en tabla 9.

Tabla 8. Biomasa total por kilogramos y megágramos.

Especie	No. de árboles	Biomasa promedio por árbol(Kg)	Biomasa promedio por árbol (Mg)	Área muestreada	Biomasa total por árboles muestreados en Kg	Biomasa total por árboles muestreados en Mg	Biomasa total MgHa
<i>L. racemosa</i> (Mangle blanco)	432	661.93	0.6619		319,050.26	319.0502	
<i>R. mangle</i> (Mangle rojo)	150	785.40	0.7854		117,810	117.81	
<i>A. germinans</i> (Mangle negro)	17	780.76	0.7807	2,000 m ²	13,272.92	13.2719	2,455.06
<i>C. erectus</i> (Mangle balconilla)	74	552.45	0.5524		40,881.3	40.8813	
Total	723						

Existe una relación entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la biomasa aérea. Cabe señalar que los rangos varía entre las especie, pero se demuestra que el aumento del diámetro influye en la ganancia de biomasa y por tanto en las reservas de carbono. La tendencia de los valores de la biomasa aérea con respecto al DAP de los árboles se presenta en las gráficas 4, 5.





Gráfica 4. Relación de la biomasa total y el diámetro a la altura del pecho (DAP) de los individuos muestreados.

4.1.2. Reservas de carbono

En cuanto a la reserva de carbono, la especie con mayor reserva de carbono es *R. mangle* (Mangle rojo), en promedio reserva en su biomasa aérea 0.3644 MgC ó 364.4 Kg de carbono, mientras que la especie con menor contenido de carbono es *C. erectus* (Mangle botoncillo) con 0.2563 MgC ó 256.3 Kg, en la tabla 10, se puede observar las especies de manglar de la zona de estudio y su respectivos datos de biomasa y carbono.

Con el área de estudio establecida (por cada 2000 m² de manglar), se obtiene 491.014 Mg de biomasa aérea, lo que se traduce a 227.8302 MgC o bien por cada hectárea de manglar una reserva de carbono de 1,138.95 MgCha⁻¹.

Tabla 9. Especies de mangle de la zona de estudio, datos de biomasa y carbono.

Especie	No. de árboles	Biomasa promedio por árbol (Kg)	Biomasa promedio por árbol (Mg)	Biomasa total por árboles muestreados (Kg)	Biomasa total por árboles muestreados en Mg	Factor de conversión 0.464	Área muestreada	Carbono promedio por árbol muestreado (Kg)	Carbono promedio por árbol muestreado (Mg)	Carbono Total por árboles muestreados (Mg)	MgC _{ha} ⁻¹ de manglar
<i>L. racemosa</i> (Mangle blanco)	482	661.93	0.6619	319,050.36	319.0509			307.1385	0.3071	142.02	
<i>R. mangle</i> (Mangle rojo)	150	765.40	0.7654	117,810	117.81	0.464	3000 m ²	364.4256	0.3644	54.66	
<i>A. germinans</i> (Mangle negro)	17	750.70	0.7507	12,372.90	12.3729			340.2764	0.3402	6.1574	1,118.05
<i>C. erectus</i> (Mangle botoncillo)	74	552.45	0.55245	40,881.3	40.8813			256.3368	0.2563	18.96	
Total	723			491,013.4	491.0134					227.79	

4.1.3. Determinación de pérdida o ganancia de carbono en los tiempos 1995-2005.

Con la base de datos y la extrapolación de mapas, se realizó la comparación de cobertura de los dos tiempos (1995-2005), para determinar la pérdida o ganancia carbono, para el año 1995 la cobertura de manglar fue de 3254.735 ha., y para el año 2005, la cobertura de manglar fue de 3376.721 ha., Como resultado de la diferencia entre ambos periodos, se registró un incremento de 122 ha de cobertura de manglar en un periodo de 10 años, estimando un incremento anual de 12.2 ha/año. Ver en figura 13.

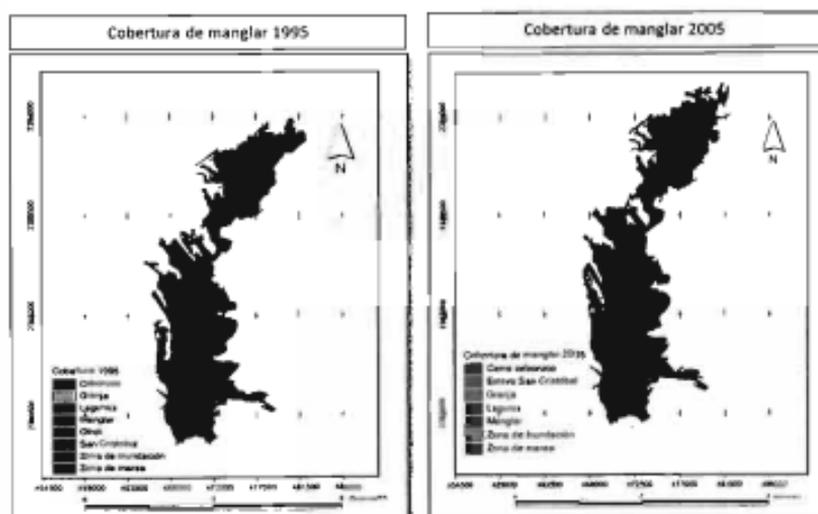


Figura 93. Cobertura vegetal 1995-2005.

Las reservas de carbono para el año 1995 fueron de 3,706,90.42 MgC, mientras que para el año 2005 de 3,845,916.383 MgC, con un incremento en las reservas de carbono de 138,935.9548 MgC. Ver tabla 11.

Tabla 10. Cobertura y reservas de carbono en dos periodos de tiempo (1995-2005).

Parámetros	Periodo (Año)	
	1995	2005
Cobertura	3254.735 ha	3376.721 ha
Carbono (Mg/Ha ⁻¹)	1,138.95	
Carbono (Mg)	3,706,980.42	3,845,916.383

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAHÍA



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

CAPITULO V. DISCUION

Los resultados obtenidos corroboran la importancia que tiene el bosque de manglar del estero San Cristóbal, ya que contribuyen con la reducción de las concentraciones de CO_2 a la atmósfera a través de la transformación del carbono atmosférico para la generación de biomasa, que a su vez almacena carbono en su estructura brindando un servicio ambiental en la captura y reserva del CO_2 .

5.2.1 Biomasa aérea y reserva de carbono

Los valores de carbono y biomasa registrados para este trabajo superan las reservas reportadas para otros bosques de manglar.

La biomasa fue explicada por el diámetro a la altura del pecho y la densidad de la madera para cada una de la especie, en este caso ambos valores son significativas, la altura de los árboles no fueron significativos para este trabajo. El modelo alométrico desarrollado por Komiyama *et al.*, (2005) y utilizado por Manrow, *et al.*, (2012), se eligió para predecir la biomasa de las cuatro especies de manglar *L. racemosa* (Mangle blanco), *R. mangle* (Mangle rojo), *A. germinans* (Mangle negro), *C. erectus* (Mangle botoncillo), se ajustó con un coeficiente de determinación $R_2 = 0.954$, utilizando las variables ya mencionas al principio del texto.

La biomasa obtenida fue de 491.014 Mg en las parcelas de muestreo, y una reserva de carbono de 227.83 MgC, extrapolando los datos, obtenemos que por cada hectárea de manglar de la zona se obtiene aproximadamente una biomasa de 2,455.06 Mg/ha y una reserva de carbono 1,138.95 MgCha⁻¹, muy por encima de los resultados obtenido por Villalobos *et al.*, (2011), donde muestra una biomasa calculada para dos sitios, como resultado se obtuvo 330, 27 Mg/ha y 257,10 Mg/ha de biomasa, mientras que el carbono 153,25 Mg/ha y 119,29 Mg/ha, por su parte Mendoza *et al.*,(2010) registró un contenido de carbono de 537.5 MgCha⁻¹. Rojas (2011), en el estudio que realizó en el área natural protegida de Marismas Nacionales, Nayarit, México, obtuvo una biomasa aérea de 219.867 y un contenido de carbono de 102 Mg C ha⁻¹.

5.2.2. Determinación de pérdida o ganancia de carbono en los tiempos 1995-2005.

Estudio realizado por Cervantes *et al.*, (2008), indica que marismas nacionales y San Blas han sido las zonas más afectada en cuanto a pérdida de cobertura de manglar. Rodríguez *et al.*, (2012) señala que el sistema ha estado expuesto a diversos impactos tanto de origen natural como antrópico. Por lo que existe una disminución de su extensión asociada a los cambios hidrológicos causados por la apertura artificial del canal de Cuautla en 1971 y a los impactos producidos por el paso de los huracanes Rosa en 1994 y Kena en el 2002, así como el desarrollo de la camaronicultura en las dos últimas décadas. Cada evento de manera individual y conjunta ha provocado cambios en la estructura y dinámica de los manglares de la zona. Sin embargo los resultados de éste trabajo de investigación, contradice lo expuesto por Cervantes *et al.*, (2008) y Rodríguez *et al.*, (2012), ya que el análisis de cobertura realizado para dos periodos distintos (1995-2005), demuestran un incremento en la cobertura de manglar de 122 ha lo que equivale a una tasa de crecimiento de 12.2 ha por año en el área de estudio; el incremento se le atribuye, al manejo y conservación del manglar por parte de la población y ejidatarios de la zona. Moreno *et al.*, (2006), indica que 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

Por otra parte, es claro que no solo el incremento del mar sería una de las principales consecuencias climáticas que afectaría al manglar, también el aumento en la radiación solar, afectaría el proceso de intercambio de gases a través de la fotosíntesis; sin embargo unas de las afectaciones primordiales para la zona estudiada, aún más que el propio cambio climático, es la creación de nuevas presas en el estado; ya que esto disminuye la capacidad en las corrientes de los ríos y por ende en los esteros, haciendo que el nivel de sedimentación incremente por falta de arrastre e incremente la salinidad en la zona, provocando

que el manglar tenga un menor desarrollo; Así mismo la presión que ejercen las construcciones hidroeléctricas en los humedales costeros, provocaría que el manglar pase de ser un importante sumidero dióxido de carbono, a una importante fuente de metano atmosférico, aunque sin modificaciones de cauces, aporta metano atmosférico, pero las cantidades son mínimas.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

Los manglares del sistema estuario San Cristóbal, pueden ayudar a aminorar la cantidad de GEI y mantener un equilibrio atmosférico, debido a su capacidad para reservar carbono, así mismo se demostró a partir de éste estudio que los manglares del ésta área, son una fuente importante para mantener un equilibrio ecológico en la zona.

El análisis de cambio de cobertura de manglar revela un incremento en la superficie de 122 hectáreas entre 1995 y 2005. Estimando un incremento anual de 12.2 ha/año.

Respecto a las reservas de carbono en los periodos de tiempo analizados (199-2005), se concluye que los manglares en estudio representaron una reserva de carbono atmosférico de aproximadamente los 2,729,611.86 Mg, para el año 1995, mientras que para el año 2005 su reserva fue de 2,831,919.9 Mg, observándose un incremento de 102,308.04 MgC.

Aunque la cobertura de manglar para la zona de estudio no se vio modificada e inclusive incrementó en los últimos 10 años, los resultados obtenidos indican que el aumento o disminución en la cobertura de manglar está íntimamente relacionado con el aumento o reducción en las reservas de carbono por lo que los resultados obtenidos comprueban la hipótesis.

CAPITULO VII. RECOMENDACIONES

Es necesario seguir realizando investigaciones que ayuden a la importancia del manglar para ayudar a minimizar los efectos del cambio climático así como la importancia que tiene como un sistema natural. Así mismo es importante concientizar a la población, sobre la valoración de los servicio ecosistemicos que éste bosque ofrece, y con ellos fomentar la conservación y restauración e inclusión en los mercados de carbono para compensar las emisiones de las organizaciones.

LITERATURA CITADA

- Acosta, M.; Vargas, J.; Velásquez, A.; Etchevers, J. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*. 36 (6): 725 – 736.
- Alongi, D. M. 2002. Present and future of the world's mangrove forests, *Environ. Conserv.*, 29(3), 331–349.
- Alongi, D., 2008. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, coastal and Shelf Science* 76 : pp. 1-13.
- Avendaño H., D. acosta M. 2006. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y carbono en *Abies religiosa* Schl. et Cham., Tlaxcala Méx. 66 p.
- Barrera B. S. L. (2011). "Análisis del nivel hídrico y las condiciones del humedal de la laguna de Batuco". Tesis profesional electrónica. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Blasco, F. (1991). *Los Manglares, Mundo Científico*, 144 (11):616-625.
- Bolin, B. 1970. The carbon cycle. *Scientific American* 223: 125-132.
- Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. Roma, Italia. FAO. 55 p. (Informe Montes N°134).
- Brown, S. (1996). Influencia de los bosques. *Revista Unasyiva*. Volumen 47. No. 185. Pág 3-10. Canberra, Australia.
- Brown, S.; Sathaye J; Cannell M; Kauppi P. 1996. Mitigación of carbon emission to the atmosphere by forest management. *Commonwealth Forestry Review*. 75 (1): 80-91. C.T.[en línea] <<http://www.yale.edu/fes519b/saltonstal/page6.htm>>. [consulta 22 de Mayo 2014].
- Brown, S; Gillespe, A; Lugo, A. 1989. Biomass estimation for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science*. 35(4): 881 – 902.
- Canadell, JG; Le Quéré, C; Raupach, MR; Field, CB, Bultenhuis, ET; Ciais, P; Conway, TJ; Gillett, NP; Houghton, RA and Marland, G. 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO2 growth from economic

activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks, Proceedings of the National Academy of Sciences, 104, 18866-18870.

- Cadena M., O. I. 2006. Almacenes de carbono en el mantillo en bosques manejados de *Pinus patula* Schiede & Deppe, en el Ejido de La Mojonera, Zacualtipán, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Córdoba, Veracruz. 53 p.
- Castañeda, A; Vargas, J; Gómez, A; Valdez, J; Vaquera, H. 2005. Acumulación en la biomasa aérea de una plantación de *Bambusa oldhamii*. *Agrociencia*. 39 (1): 107 – 117.
- Castellanos F., J., A. Velázquez M., J. J. Vargas H., C. Rodríguez F. y A. M. Fierros G. 1996. Producción de biomasa en un rodal de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Agrociencia*. 30: 123-128.
- Cervantes Escobar, A., Ruiz Luna A., Berlanga Robles, C. 2008. Evaluación de la condición de los sistemas de manglar en el noroeste de México. [En línea] http://www.inecc.gob.mx/descargas/ord_ecol/1bienio_oemgc_res_acervantes_et_al.pdf
- Chave, J; Riéra, B; Dubois, M. 2001. Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability. *Journal of Tropical Ecology*. 17: 79 – 96.
- Chopra, K., Leemans, R., Kumar, P., & Simons, H. (2005), *Ecosystems and Human Well-being: Policy responses*, Volume 3, Findings of the Responses Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment, Island Press, Washington, Covelo, London.
- Cintrón Molero, G; Schaeffer Novelli, Y. 1984. Methods for studying mangrove structure. In *The mangrove ecosystem: research methods*. Eds. S. Snedaker; J. Snedaker. UNESCO, Paris. p. 91-113.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), 2007. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) – Versión 2006-2008, [En Línea], (consultado 04/03/2014) disponible en http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/FIR_RAMRAR/Nayarit/La%20Tovara/Mexico%20La%20Tovara%20RIS%20S%202008.pdf
- Comisión Nacional del Agua, 2012. Humedales Ramsar. Sistema Nacional de Información del agua. [Base de datos].

<http://www.conagua.gob.mx/atlas/impacto48.html#> [consulta el 18 junio 2014].

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Manglares de México: Extensión y distribución. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99 pp.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2008. Manglares de México. México D.F. 7-10 p.
- CONAM. 2001. Primera Comunicación Nacional del Perú para la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Lima.
- Contreras, R. 2007. "Uso de Vegas y Bofedales de la Zona Cordillerana y Precordillerana de la Región de Atacama". Memoria para Optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile.
- Del valle Melendo Javier, (2014). El cambio climático: reflexiones tras la cumbre de Varsovia. [Documento de opinión] Instituto Español de estudios estratégicos. Pag. 2 [En línea] http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2014/DiEEEE07-2014_CambioClimatico_JavierdelValle.pdf [Consulta 30 de Abril 2014].
- Department of Climate Change (2008). Carbon Pollution Reduction Scheme.
- Desantis, L., Bhotika, S., Williams, K. and Putz, F., 2007. Sea-level rise and drought interactions accelerate forest decline on the gulf coast of Florida, USA. *Global Biology* 13:pp. 2349-2360.
- Diario Oficial (2007) SEMARNAT, "Decreto por el que se adiciona el artículo 60 TER". Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgvs/LGVS_ref04_01feb07.pdf [Consulta 05 mayo 2014].
- Dittmar T., Hertkorn N., Kattner G. and Lara R. J. (2006) Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans. *Global Biogeochem. Cycles* 20, GB1012. <http://dx.doi.org/10.1029/2005GB002570>
- Dixon, R.K., Brown, S., Houghton R. A., Solomon A. M., Trexler M., Wisniewski J. 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, Vol. 263, ppl 85-190.

- Donato, D.C., J.B. Kauffman, D. Murdiyarmo, S. Kurnianto, M. Stidham, and M. Kanninen. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience* 4: 293-297.
- Eamus, K McGuinness, W Burrows. 2000. Review of allometric relationships for estimating woody biomass for Queensland, the northern territory and western Australia. National Carbon accounting system. 56 p. (Technical report N° 5).
- Escobedo F., Hernández J., de la Maza C.L., Rodríguez M., Nowak D.J., Crane D.E., 2002. Determinando los efectos del arbolado urbano sobre la calidad del aire, caso Santiago de Chile. USDA Forest Service NE Research Station, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. En Seminario Internacional: Funciones y Valores del Arbolado Urbano. 19-25 p.
- Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2012 boletín 09. (Noviembre 2013). Organización Meteorológica Mundial (OMM). Recuperado de: [http://www.wmo.int/paques/prog/arep/gaw/ghg/documents/GHG Bulletin N o.9_es.pdf](http://www.wmo.int/paques/prog/arep/gaw/ghg/documents/GHG_Bulletin_N_o.9_es.pdf)
- Estimación de biomasa aérea y parámetros estructurales en los manglares de Laguna Pom Atasta, Campeche y Laguna Agua Brava, Nayarit, México, con imágenes de radar ALOS PALSAR
- FAO. 2003. Serie Centroamericana de bosques y cambio climático. Costa Rica frente al cambio climático. 60 p.
- FAO. 2013. Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales. Estudio FAO Montes N° 172. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
- Feely RA, Sabine CL, Takahashi T, Wanninkhof R. 2001. Uptake and storage of carbon dioxide in the ocean: The global CO₂ survey. *Oceanography* 14: 18-32.
- Fernández, M., A. "Carbono azul, el poder de los océanos contra el cambio climático". *Consumer* 29 de agosto de 2013; [en línea] http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/naturaleza/2013/08/29/217731.php [consulta 05 julio 2014].

- Field, C., 1996. La restauración de ecosistemas de manglar. Sociedad internacional para ecosistemas de manglar. Okinawa, Japón. 227 p.
- Food and Agriculture of the United Nations (FAO). 2007. The World's mangroves 1980- 2005. FAO. Rome.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2007. The world's mangroves 1980-2005. Roma, Italy, 2007. 55:153.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2007. The world's mangroves 1980-2005. Roma, Italy, 2007. 55:153.
- Fournier, R.A., J.E. Luther, L. Guindon, M.C. Lambert, D. Piercey, R.J. Hall and M.A. Wulder. 2003. Mapping Aboveground tree biomass at the stand level from inventory information: test cases in Newfoundland and Quebec. *Can. J. For. Res.* 33:1846-1863.
- Fromard, F., H. Puig, E. Mougín, G. Marty, J.L. Betoulle, and L. Cadamuro, 1998. Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: New data from French Guiana, *Oecologia*, 115:39-53.
- Gaona-Pineda, O. (2007). Consideraciones Ambientales y Prospección para la Restauración de un Ecosistema de Manglar al Sureste de la Reserva de la Biosfera "Los Petenes". México, D.F.: Tesis de Maestría. UNAM.
- Gayoso, J; Guerra, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque*. 26(2): 33 - 38.
- Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, J. O. Foley, J.A. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stock: making REDD a reality. *Environmental Research Letters*, 2 (4): 1-13.
- Giesen W, Wulffraat S, Zieren M, Scholten L (2007) Mangrove guidebook for Southeast Asia. Food and Agricultural Organisation & Wetlands International, Bangkok, Tailandia, 769 pp.
- Gilman, E., Ellison, J. Duke, N. and Field, C., 2008. Threats to mangroves from climatic change and adaptation options. *Aquatic Botany*. En press.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J. y Duke, N., 2010. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography* DOI: 10.1111/J.1466-8283.2010.00584.x. Consultado en: www.blackwellpublishing.com/geb.

- Greenpeace (2013). El ártico y los efectos del cambio climático en México, Salvar el ártico es salvar mucho más. Consultado en: <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/Docs/2013/Artico2013-WEB-%20CORRECCIONES%208%20AGO.pdf>
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio Climático. (2014). El cambio climático produce riesgos generalizados, pero es posible poner respuestas efectivas. [Comunicado de prensa]. Recuperado de http://www.ipcc.ch/pdf/ar5/pr_wg2/140331_pr_wgII_es.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2013. Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Resumen para responsables de políticas]. IPCC, Suiza, 34 págs.
- Hairiah K., Sitompul S.M., Van Noodwick M. y Palm C., 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. International Centre for Research in Agroforestry. Southeast Asian Regional Research Programme. Bogor, Indonesia. [en línea] <<http://www.icraf.cgiar.org/sea>>. [consulta 11 de abril 2014].
- Harrison J.A. 2003. El ciclo carbónico. Siempre de ida y vuelta. Visionlearning Vol. EAS-2 (3s).
- Hernández Escobar. Aproximación a la valoración económica de la absorción de CO₂ y producción de O₂ en la reserva forestal protectora de los ríos blanco y negro.
- Hoffmann D. 2013. Científicos climáticos concuerdan en un 97% que el cambio climático es causado por el hombre. [en línea] http://www.cambioclimatico-bolivia.org/pdf/cc-20130610-Cient_iacute_ficos_clim_aacute_ticos_concuerdan_en_un_97_que_el_cambio_clim_aacute_tico_es_causado_por_el_hombre.pdf. [Consulta 21 de Abril 2014].
- Howe, A.J., Rodriguez, J.F., Saco, P.M. (2009). Surface evolution and carbon sequestration in disturbed and undisturbed wetland soils of the Hunter estuary, southeast Australia Estuarine Coastal Shelf Sci., 84, 75–83 pp.

- IDEAM, instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, 2001. Vulnerabilidad y adaptación de la zona costera colombiana al ascenso acelerado del nivel del mar. Bogotá. 91 p.
- INEGI 2010. XIII Censo de Población y Vivienda 2010. Nayarit, Aguascalientes, México.
- INEGI, 2000 (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). Síntesis de Información Geográfica del Estado de Nayarit. México.
- Instituto Nacional de Ecología y cambio climático (2 de abril de 2014). Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) Grupo de Trabajo II: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. (Síntesis elaborada por INECC). [Enlínea]http://www.inecc.gob.mx/descargas/com_prensa/2014_boletin_inecc_ver4_f.pdf [Consulta 21 de Abril 2014].
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007a): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014 Enero). Cambio Climático 2013, base de ciencia física. Recuperado de https://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/ar5_wg1_headlines_es.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (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 págs.
- Isanza D., J. F. y Campos R., D. 2007. Cambio climático: Glaciaciones y calentamiento global. Colombia. 287 p.
- Jiménez, JA. 1994. Los manglares del Pacífico Centroamericano. Heredia, CR. EFUNA. 336 p.
- Juárez Loman, Victor . (11/06/2014). CINVSTAV MÉRIDA ESTUDIA EL "CARBONO AZUL". [Citado en Abril 03 de 2015], de avance y perspectiva

Sitio web: <http://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/5068/cinvestav-merida-estudia-el-carbono-azul>

- Kauffman, JB; Heider, C; Cole, TG; Dwire, KA; Donato, DC. 2011 Ecosystem Carbon Stocks of Micronesian Mangrove Forests. [En línea]. *Wetlands*. 31: 343-352. (Consultado Diciembre 07 2013). Disponible en http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2011/nrs_2011_kauffman_001.pdf.
- Kaufman, JB; Cole TG. 2010. Micronesian Mangroves Forest Structure and Tree Responses to a Severe Thyphon. [En línea]. *Wetlands*. 30: 1077-1084. (Consultado Mayo, 23 2014). Disponible en <http://www.springerlink.com/content/841836lq15671028/fulltext.pdf>.
- Komiyama, A., Ong, J. E. y Pongpam, S., 2006, Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89, 128-137.
- Komiyama, A; Pongpam, S; Kato, S. 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*. 21: 471-477.
- Lapeyre, T.; Alegre, J.; Arevalo, L. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecol. apl.*, Lima, v. 3, n. 1-2, enero 2004 . Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162004000100006&lng=es&nrm=iso. Accedido en 26 abr. 2014.
- Lefeuvre JC, Laffaille P, Feunteun E, Bouchard V, Radureau A. 2003. Biodiversity in salt marshes: from patrimonial value to ecosystem functioning. The case study of the Mont-Saint-Michel bay. *C. R. Biol.* 326(Suppl 1): S125-S131
- López, P. J; Ezcurra, E. 2002. Los manglares de México: una revisión. *Madera y bosques*. Número especial: 27-52.
- Lot, A. & Novelo, A. 1990. Forested wetlands of Mexico. In: A.E.
- Lot-Helgueras, A., Vázquez-Yanes, C. & Menéndez, F. 1975. Physiognomic and floristic changes near the northern limit of mangroves in the Gulf Coast of Mexico. 52-61 In: G.E. Walsh, S.C. Snedaker y H. Teas (De). *Proceedings of the International Symposium on the Biology and Management of Mangroves*. Institute of Food an Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, Fla.

- Lucas, R.M., Mitchell, L. A., Rosenqvist, A., Proisy, C. Melius, A. Ticehurst, C. 2007. The potential of L-band SAR for quantifying mangrove characteristics and change: case studies from the tropics. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 17, 245.
- Mac Donald, D.J. 2005. Biomasa aérea en una plantación de *Austrocedrus chilensis* de 20 años ubicada en Valdivia. Tesis Ing. Forestal. UACH. Valdivia, Chile. 4 p
- Magnani F., M. Mencuccini, and J. Grace. 2000. Age-related decline in stand productivity: the role of structural acclimation under hydraulic constraints. *Plant cell and Environment* 23: 251-263.
- March, I.J., Cabral, H., Echeverría, Y., Bellot, M. y J.M. Frausto (eds.), 2011. Adaptación al Cambio Climático en Áreas Protegidas del Caribe de México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. México. Serie Estrategias de Adaptación al Cambio Climático en Áreas Protegidas de México. No. 1, 109 pp.
- Marín, V.; L. Delgado & I. Vila (2006) Sistemas acuáticos, ecosistemas y cuencas hidrográficas. En: I. Vila, A. Veloso, R. Schlatter y C. Ramirez (eds.) Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile. Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- Masera, R. 2001. Carbon sequestration dynamics in forestry projects: The CO2FIX V.2 Model approach. E-mail: omasera@oikos.unam.mx . Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, 18 al 20 de Octubre del 2001. 13 p.
- McLeod, Elizabeth and Salm, Rodney V. (2006). *Managing Mangroves for Resilience to Climate Change*. IUCN, Gland, Switzerland. 64pp
- Medina B.C, Connolly W.R, Corea S.C.A, (2008) Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas productivos promovidos por el programa socioambiental forestal. Departamento de Gestión Ambiental, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Melo, H. y Camacho, M. 2005. Interpretación Visual de Imágenes de Sensores Remotos y su Aplicación en Levantamientos de Cobertura y uso de la

- Tierra. Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica-CIAF.
- Menéndez Carrera, L.M. (2013). El ecosistema de manglar en el archipiélago cubano: Bases para su gestión (Tesis de doctorado Universidad de Alicante). Recuperado de http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/35983/1/tesis_ledamiguelina_menendez.pdf
- Mentado, P. (2014, 07 de Junio). Cinvestav Mérida estudia el "carbono azul". UNIÓN Yucatán. p.
- Mitsch, W. J. y J.G. Gosselink. 2000. Wetlands. 3ª. Edic. Wiley John & Sons, Inc. Estados Unidos.
- Manrow, V. M., Vilchez, A., B., (2012). Estructura, composición florística, biomasa y carbono arriba del suelo en los manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín, Limón, Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana Kurú (Costa Rica) Volumen.9, n°23, Julio, 2012 ISSN: 2215-2504.
- Monroy, C, Nàvar, J. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. en Veracruz, México. Madera y Bosques. 10 (2): 29 – 43.
- Moreno-Casasola P., & D.M., Infante M. 2009. Manglares y selvas inundables. Instituto de Ecologías A.C. CONAFOR Omit, Xalapa, Ver. México. 150 pp.
- Moreno M.,Ceron G.J.,Guerra J., Amador E.,Huerta, E. 2010. Estimación del potencial de captura de carbono en suelos de manglar de isla de Carmen. UNACAR TECNOCENCIA.23-39 p.
- Murdiyarsa, D ; Donato, D; Kauffman, J; Kurnianto, S; Stidham, M; Kanninen, M. 2009. Carbon storage in mangrove and peatland ecosystems: A preliminary account from plots in Indonesia. (en línea).CIFOR. Bogor Barat, ID. 37 p. Consultado 18 nov. 2011. Disponible en http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2009/nrs_2009_murdiyarsa_001.pdf.
- National Oceanic and Atmospheric Administration/ Earth System Research Laboratory (2015). Global Monitoring Division. (En Línea) <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html>.

Veracruz y Puebla (CD) Reporte final del proyecto CONACYT 2002-C001-5741. Inst. de Ecol A. C. Xalapa, Ver.

NOAA & EPA, 2003. "Restauración, Creación y Mejoramiento de Humedales".

Odum, E. P. y Barrett, G. W. 2008. Fundamentos de Ecología. Traducción de Maria Teresa Aguilar Ortega. Editorial Cengage Learning. México, D. F. 597 p.

Ordoñez D.,A. 2008. Emisiones y captura de carbono derivadas de la dinámica de cambio del 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. p. 140.

Ordoñez J.A.B 2001. Manual de procedimiento para la estimación de la biomasa aérea en bosques templados, matorrales, pastizales y áreas agrícolas, Instituto de Ecología, UNAM, México.

Ordoñez J.A.B y Masera O. 2001, "La captura de carbono ante el cambio climático", en *madera y bosques* 7 (1):pp. 3-12.

Ordoñez, D, J.A. 1999. Captura de carbon en un bosque templado: el caso San Juan Nuevo Michoacán. INE-SEMARNAT. México. D.F. 74 p.

Organización de las Naciones Unidas (2014). La tierra y el cambio climático. Portal de la labor del sistema de las naciones unidas sobre el cambio climático. [En línea], extraído el 03/04/2015 desde <http://www.un.org/es/climatechange/changes.shtml>.

Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). 1996. Cambio climático Bosques y ordenación forestal, una visión de conjunto. Roma 16 p.

Organización Meteorológica Mundial (OMM) (Organismo especializado de las Naciones Unidas). (2013, 6 DE NOVIEMBRE). Declaración pública. *Las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanzan un nuevo récord*, p. S/N

Overman, J; Witte, H; Saldarriaga, J. 1994. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon rainforest. *Journal of Tropical Ecology*. 10: 218 – 297

- Palomino, D. y Cabrera, C. 2008. Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo. *Revista del Instituto de Investigaciones FIMGMMG*. 10 (20). 49 – 59 p.
- Panel intergubernamental para el cambio climático (IPCC 2005). La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. OMM, PNUMA, 66p.
- Pearson, T. Walker, & S. Brown, S. 2005. Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank. 64 p.
- Pearson, TR; Brown, SL; Birdsey, RA. 2007. Measurement Guidelines for the Sequestration of Forest Carbon. (en línea). USDA Forest Services Northern Global Change Research Program. 47 p. Consultado 12 dic. 2011. Disponible en http://nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_nrs18.pdf.
- Picard N., Saint-André L., Henry M. 2012. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Developpement, Rome, Montpellier, 223 Págs.
- Pinto-Nolla, F. 1999. Sucesión y fisionomía de los manglares de Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 23 Supl. Esp.:141-161.
- PNUMA, CEPAL, PNUMA/GRID-Arendal (2010). Gráficos Vitales del Cambio Climático para América Latina y El Caribe. Edición especial para la CP16/CP-RP 6, México ISBN: 978-92-807-3122-4.
- PNUMA. Programa de las naciones unidas para el medio ambiente, secretaria de la convención sobre el cambio climático. Climate Change Information Kit. Bonn, Alemania, 2001.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2005. Proyecto ciudadanía ambiental global, Cambio climático. México DF. 33p.
- Rabinowitz, D. 1978. Dispersal properties of mangrove propagules. *Biotropica* 10: 47-57.
- Rajonson, J. (1995). Proceedings Of The Workshop And Policy Conference On Integrated Coastal Zone Management In: Eastern Africa Including The Island States. Reporte From The Swedish Agency For Research

- Raynaud, D., J. Jouzel, J.M. Barnola, J. Chappellaz, R.J. Delmas & C. Lorius, 1993. The ice core record of greenhouse gases. *Science*.
- Regina, S. 2000. Biomass estimation and nutrient pools in four *Quercus pyrenaica* in Sierra de Gata, Salamanca, Spain. *Forest Ecology Management*. 132: 127 – 141.
- Rodríguez-Zúñiga M.T., Troche-Souza C., Vázquez-Lule A. D., Márquez-Mendoza J. D., Vázquez- Balderas B., Valderrama-Landeros L., Velázquez-Salazar S., Uribe-Martínez A., Acosta-Velázquez J., Díaz-Gallegos J., Cruz-López M. I. y Ressler R. 2012. Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 2ª y 3era etapas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. GQ004. México, D.F.
- Rojo, G; Jasso, J; Vargas J; Palma, D; Velázquez, A. 2005. Biomasa aérea en plantaciones comerciales de Hule (*Hevea brasiliensis* Mull. Erg.) en el estado de Oaxaca, México. *Agrociencia*. 39 (4): 449 – 456.
- Rojo-Martínez, G. E., Jasso-Mata J., Velásquez-Martínez A., 2003. Las masas forestales como sumideros de co2 ante un cambio climático global. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(1): 57-67.
- Rzedowski, J. y McVaugh R., 1966. La Vegetación de la Nueva Galicia. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México, D.F. – University of Michigan.
- Rzedowski, J., 1983. Vegetación de México. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. Editorial Limusa, S.A.
- Schlegel B., Gayoso J., Guerra J., 2002. Procedimientos de muestreo de biomasa forestal. Universidad Austral. [En línea] <<http://www.portalforestal.com/noticias/vernoticias.asp?id=239>>. [Consulta 21 de Abril 2014].
- Schlegel, B. 2001. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. Valdivia, Chile. Simposio Internacional Medición y

Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, 18 al 20 de Octubre del 2001. 13 p.

Schlesinger, W. H. 1997. Biogeochemistry: An Analysis of Global Change. New York: National Academic Press.

Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. "Establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zona de manglar". Norma-022-semarnat-2003. Diario oficial de la federación, 10 de abril de 2003.

Segura M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costarricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Escuela de Ciencias Ambientales. 126 p. + anexos.

SEMARNAT, (2012). México. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Noviembre del 2012. Pag. 399.

SEMARNAT. 2003. Compendio de Estadísticas Ambientales, 2002. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

SEMARNAT. 2009. Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. México.

Spalding, M., Kainuma, M. y Collins, L. 2010. World Atlas of Mangroves. (London, UK and Washington, DC, USA: Earthscan). Tomlinson, P.B. 1986.

Stuiver, M. 1978. Atmospheric carbon dioxide and carbon reservoir changes. Science 199(4236): 253-258.

The National Research Council and NOAA (2012). *Climate change, Evidence, Impacts and choices, answers to common questions about the science of climate change*. [Folleto]. Huddleston Nancy. Recuperado: 24 de Marzo 2014 desde: http://www.ianas.org/books/CAMBIO_CLIMATICO_WEB.pdf.

Tomlinson, P.B. 1986. The Botany of mangrove. Cambridge University Press. Gran Bretaña. 419 pp.

Twilley, R., & Day, J. (1999). The productivity and nutrient cycling of mangrove ecosystem. En Arancibia-Yañez, & A. Lara, Ecosistemas de manglar en América tropical. Instituto de Ecología.

- UNEP, 1994. Assessment and monitoring of climatic change impacts on mangrove ecosystems. UNEP Regional Seas Report and Studies No. 154.
- Universidad Autónoma de Nayarit, 2000. Estudio Básico del Estero de San Cristóbal, La Tovar y Singayta, San Blas, Nayarit. Para su incorporación al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). Dirección de Investigación Científica.
- Valdés E. Y J.I. Valdéz, 2005. Almacenamiento de carbono en el suelo de los manglares de Marismas Nacionales. Reporte preparado para el Proyecto Semarnat-Conacyt-2002-C01-0096, Colegio de Posgraduados y Universidad Iberoamericana, México.
- Valdez, I.J., 2004. Manejo forestal de un manglar al sur de Marismas Nacionales, Nayarit. Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Naturales. Programa Forestal. Km 36.5 Carr. MéxicoTexcoco. Montecillo 56230 Estado de México. c.e.ignaciov@colpos.mx
- Valiela I, JL Bowen y JK York 2001. Mangrove forests: one of the World's threatened major tropical environments. *BioScience* 51, 10: 807-815.
- Villers, R. L. e I. Trejo-Vázquez. 1997. Assessment of the vulnerability of forest ecosystems to climate change in Mexico. *Climate Research* Vol. 9: 87-93.
- Villalobos Marrow M. (2011). Estructura, composición florística, biomasa y carbono arriba del suelo en los manglares laguna de Gandoca y estero Moín, limón - Costa Rica (tesis). Instituto tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
- Walker, W., A. Baccini, M. Nepstad, N. Horning, D. Knight, E. Braun, y A. Bausch. 2011. Guía de Campo para la Estimación de Biomasa y Carbono Forestal. Versión 1.0. Woods Hole Research Center, Falmouth, Massachusetts, USA.
- WWF (2012, Junio). Blue Carbon. A new concept for reducing the impacts of climate change by conserving coastal ecosystems in the Coral Triangle. Australia.
- Xiaonan, D., Xiaoke, W., Lu, F., Zhiyun O. (2008), Primary evaluation of carbon sequestration potential of wetlands in China *Acta Ecol. Sin.*, 28 pp. 463-469

- Yale, 1999. Aboveground biomass estimates at Saltonstall Ridge, East Haven, C.T. [en línea] <<http://www.yale.edu/les519b/saltonstall/page6.htm>>. [Consultado: 05/06/14].
- Zhang, S.R.; Sun, B.; Zhao, Q.G.; Xiao, P.F.; Shu, J. (2004). Temporal-spatial variability of soil organic carbon stocks in a rehabilitating ecosystem. *Pedosphere*, 14 pp. 501–508.