



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**“ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO Y CAPTURA
POTENCIAL DE CARBONO EN BIOMASA
AÉREA, EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA
DEL ABRA TANCHIPA, SAN LUIS POTOSÍ,
MÉXICO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A :

JHOANA VERENISE CARMONA HERNÁNDEZ



Director de Tesis:

Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
Secretaría General
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

LIC. IVONNE RAMÍREZ WENCE
Directora General
Dirección General de Administración Escolar
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

Estimación del contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea, en la Reserva de la Biósfera del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México

realizado por **Jhoana Verenise Carmona Hernández** con número de cuenta **303052588** quien ha decidido titularse mediante la opción de tesis en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario Dr. Tomás Hernández Tejeda

Propietaria M. en C. Verónica del Pilar Reyero Hernández

Propietario Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz
Tutor

Suplente Dra. María Cecilia del Carmen Nieto de Pascual Pola

Suplente M. en C. Manuel Hernández Quiroz

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., A 13 DE JUNIO DE 2017

JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

1. Datos del alumno

Carmona
Hernández
Jhoana Verenise
Tel. 54-26-90-02
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
303052588

2. Datos del tutor

Dr.
Ordóñez
Díaz
José Antonio Benjamín

3. Datos del sinodal 1

Dr.
Hernández
Tejada
Tomás

4. Datos del sinodal 2

M. en C.
Reyero
Hernández
Verónica del Pilar

5. Datos del sinodal 3

Dra.
Nieta de Pascual
Pola
María Cecilia del Carmen

6. Datos del sinodal 4

M. en C.
Hernández
Quiroz
Manuel

7. Datos de la tesis

Estimación del contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea, en la Reserva de la Biósfera del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México.

118 p

2017

Dedicatorias

A Dios, por haberme puesto en el camino en que me encuentro, dándome la dicha de conocer a personas tan maravillosas, haberme enseñado que los superhéroes están aquí, en la tierra, día a día luchando por poner un granito de arena y mejorar al planeta.

A mis padres, Arturo Carmona Herrera, mi madre Bertha Hernández García, por darme la vida, brindarme su apoyo y comprensión incondicional a lo largo de estos años, por ser el pilar fundamental e inculcarme valores primordiales y éticos hasta llegar a ser la persona que soy, muchas gracias y por ello: los amo.

A mi hermana: Stephanie Carmona Hernández, por brindarme el apoyo absoluto, a pesar de las adversidades, por ser mi dolor de cabeza y haberme dado buenos consejos, escucharme y apoyarme cuando más lo necesité.

A Eduardo Dávalos Becerril, por ser una persona extraordinaria, gracias por tú tu apoyo incondicional, me escuchaste y entusiasmaste para poder dar este gran salto en mi vida; te agradezco por enseñarme el mundo de una manera diferente sin darte cuenta, te amo.

A Bombón, Paloma y Mina las cuales fueron, son y seguirán siendo parte de mi vida, como un integrante más de la familia, lo (a)s amo.

Al pilar de la familia Carmona: Frida Herrera González. En memoria de: mi abuelo paterno Porfirio Carmona Sánchez † y mi prima Sandra Anel Carmona Rodríguez †.

En memoria de los otros pilares de la familia Hernández: Arturo García Grijalva † y Bertha Hernández Silva †, así como en memoria de mi tío Emilio Hernández Olivera †.

A mis amigas inseparables: Hilari Sarai Diaz Vilchis por ser como una hermana en mi vida, por haberme escuchado y compartido crisis, logros, felicidades y tristezas; a Viviana Trejo Islas y a Tania Guerrero Enríquez † (mi angelito de la guarda) por formar parte de mi vida y apoyarme en todo momento, no importando la situación.

A mis amigo (a)s inseparables de la Universidad: Ivette Aguilar González, Dulce Navarro Granados, Ana Lilia Hernández Damián, Paola Flores Mejía, Otilia Cadena Rangel, Carlos Isaac Morales Carballo, por que en algún momento de la carrera y aún después, me han escuchado y apoyado en mis decisiones.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por ser mi casa y haberme permitido gozar de sus instalaciones y excelentes profesores, por mostrarme lo maravilloso que es la ciencia, en particular la Biología.

Y en general a todas las personas que en algún momento de la vida me han brindado el apoyo y aliento para seguir adelante.

Por mi raza hablará el espíritu UNAM. Máxima Casa de Estudios.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz, por ser Tutor, guía, consejero, amigo y director de tesis. Gracias por dejarme formar parte del equipo de trabajo, y desarrollarme como profesional, al apoyar y respetar decisiones, alentándome ante las adversidades para seguir adelante.

A mis sinodales: M. en C. Manuel Hernández Quiroz, M. en C. Verónica Reyero Hernández, Dra. Cecilia del Carmen Nieto de Pascual Pola y al Dr. Tomás Hernández Tejeda quien es coparticipante con los investigadores del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático del Premio Nobel, por haberme revisado el presente estudio y sugerirme las correcciones apropiadas para mejorar su contenido. Muchas gracias.

A mis compañeros de trabajo: Fernanda Itsel Jiménez Álvarez, Lucila María Balam de la Vega, Fidel Calvo Hernández, Araceli Flores Ramírez, Adolfo Galicia Naranjo, Rocío Grisel Rojas Briseño, Juan Francisco Torres Origel, Oscar Aguado Bautista, Irma Estefanía García y Vanessa Sepúlveda, a todos ellos por su apoyo en el trabajo de campo. Al Biól. Eduardo Dávalos Becerril por la realización y edición de mapas, al Biól. Erik Eliezer Velarde Meza por su apoyo y valiosos consejos, así como a Tania Escalante por su orientación.

El presente estudio fue parte del proyecto "Iniciativa de México para la protección de clima en el corredor ecológico Sierra Madre Oriental y en las lagunas costeras Laguna Madre y Marismas Nacionales", de la Cooperación Técnica Alemana Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH del gobierno alemán (Cambio climático en áreas Naturales Protegidas) en colaboración con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), así como al proyecto de valoración económica de seis Áreas Naturales Protegidas como Sumideros de CO₂: Laguna Madre, Marismas Nacionales, Zicuirán Infiernillo; Sierra del Abra Tanchipa, Xilitla y Sierra Madre Oriental.

A Servicios Ambientales y Cambio Climático (SACC, A.C.) con registro Reniecyt 2015/20930 y a Pronatura México A.C., por abrirme las puertas y haberme dado la oportunidad de formar parte del desarrollo en este proyecto y sus apoyos financieros.

Proyecto Papiit IN303817 Huertos familiares y afines en México. Coordinado por: Dra. María de Jesús Ordóñez Díaz, CRIM, UNAM.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Ciencias y en particular a las secretarías que me asistieron y guiaron en los respectivos trámites, como: Leticia Cid de servicio social; Rosario De Anda Flores, Angélica Elvia Santillán, que conforman parte fundamental en la Unidad de Enseñanza de Biología, así como, a las secretarías que conforman la Sección Escolar, en especial a: María Cruz Balandra Oliver y en general al personal administrativo por sus asesorías otorgadas.

CONTENIDO

Página

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	5
1.1 PLANETA TIERRA: UN SISTEMA DINÁMICO	6
1.1.1 Atmósfera	7
1.1.2 Hidrósfera	9
1.1.3 Criósfera.....	10
1.1.4 Litósfera	10
1.1.5 Biósfera	10
1.2 CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO	12
1.2.1 Calentamiento Global	12
1.2.2 Efecto Invernadero	12
1.2.3 Cambio Climático	15
1.2.4 Emisiones Actuales de los Principales GEI	24
1.2.5 Algunas consecuencias del Cambio Climático.....	31
1.2.6 Consecuencias para México del Cambio Climático.....	33
1.3 CAPTURA DE CARBONO COMO SERVICIO AMBIENTAL.....	37
1.3.1 Breve Cronología Sobre Acuerdos y Discusiones Mundiales Ante el Cambio Climático.....	37
1.3.2 El Protocolo de Kioto como Mecanismo para la Reducción de GEI, a través del Mercado de Carbono	41
1.3.3 Mercados de Carbono.....	43
1.3.4 Valoración Económica del Servicio Ambiental Captura de Carbono	45
1.3.5 Servicios Ambientales	47
1.3.6 Captura de Carbono como Servicio Ambiental	48
CAPÍTULO II OBJETIVOS	56
2.1 Objetivo General.....	56
2.2 Objetivos Particulares.....	56
CAPÍTULO III ÁREA DE ESTUDIO	57
3.1 Descripción del Área de Estudio.....	58
3.2 Localización.....	58
3.3 Antecedentes Históricos.....	61
3.3.1 Antecedentes del Proyecto del Área Natural Protegida en los contextos: Nacional, Regional y Local	61
3.4 Geología y Paleontología	62
3.5 Climatología	63
3.6 Hidrología	63
3.7 Caracterización del Área de Estudio.....	63
3.7.1 Vegetación	64
3.7.2 Fauna.....	67
3.7.3 Asentamientos Humanos.....	68
CAPÍTULO IV METODOLOGÍA	70
4.1 Selección de Puntos de Muestreo	70
4.2 Parámetros Estimados.....	72
4.2.1 Área Basal	72

4.2.2	Altura	72
4.2.3	Volumen.....	73
4.3	Biomasa Aérea	73
4.4	Estimación de Contenido de Carbono y Captura Potencial de Carbono.....	73
4.4.1	Estimación del Contenido de Carbono.....	73
4.4.2	Estimación de la Captura Potencial de Carbono.....	74
4.4.3	Estimación de Captura de CO ₂ e	74
4.5	Estimación de Costos.....	75
CAPÍTULO V RESULTADOS.....		76
5.1	Clasificación de la Cobertura Vegetal y Uso de Suelo (CVyUS) en el Área de Estudio	76
5.2	Estimación de Superficie (ha) y Porcentaje (%) de la Cobertura Vegetal y Uso de Suelo (CVyUS) en el Área de Estudio.....	76
5.3.	Estimación de Captura Potencial de Carbono equivalente por tipo de Cobertura Vegetal.....	78
5.4	Valoración Económica del Servicio Ambiental Captura Potencial de Carbono en la RBAT.....	80
5.4.1	Valoración Económica de la Captura Potencial de Carbono en diferente mercado	80
CAPÍTULO VI DISCUSIÓN		84
6.1	Cartografía Utilizada en el Área de Estudio.....	84
6.2.	Distribución de la Cobertura Vegetal en la RBAT	84
6.3	Clasificación de la CVyUS en la RBAT.....	85
6.4	Estimación de Superficie y Porcentaje de CVyUS en el Área de Estudio	88
6.5	Sitios de Muestreo en la RBAT	90
6.6	Diseño de Muestreo Aplicado en el Área de Estudio	90
6.7	Análisis Comparativo de la Captura Potencial de CO ₂ , por tipo de Cobertura Vegetal en el Área de Estudio.....	91
6.8	Valoración Económica del Servicio Ambiental-Captura de Carbono	93
6.9	Importancia Ecológica de la RBAT	94
6.10	Perturbaciones dentro de la RBAT	95
CONCLUSIONES		97
RECOMENDACIONES.....		99
REFERENCIAS.....		100
ANEXO.....		118

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Página</i>
Figura 1. Sistema climático del planeta Tierra.	6
Figura 2. Capas de la Atmósfera.	9
Figura 3. Modelo idealizado del efecto invernadero natural.	13
Figura 4. Presupuesto global de energía media, bajo las condiciones climáticas actuales. ...	13
Figura 5. Estimaciones de forzamiento radiativo en 2011 respecto de 1750, e incertidumbres agregadas.	17
Figura 6. Cambio climático a escala geológica.	18
Figura 7. Emisiones anuales de CO ₂ antropógeno y su distribución en la atmósfera, la tierra y los océanos (PgC año ⁻¹) de 1750 a 2011.	20
Figura 8. Concentraciones atmosféricas de los principales GEI de larga vida en los últimos 2,000 años con incrementos desde 1750 que se atribuyen a las actividades humanas desde la era industrial.	23
Figura 9. Principales gases de efecto invernadero de larga-vida (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, halocarbonos y hexafluoruro de azufre) (LLGHGs)* que contienen halógeno. ...	23
Figura 10. Diagrama de emisiones de GEI para México (2010).	26
Figura 11. Países con mayor contribución de CO ₂ por quema de combustible fósil en 2009.	27
Figura 12. Emisiones por sector en Gg de CO ₂ (1990-2010).	27
Figura 13. Emisiones por sector en Gg de CH ₄ (1990-2010).	28
Figura 14. Emisiones por sector en Gg de N ₂ O (1990-2010).	29
Figura 15. Emisiones de HFC, PFC y SF ₆ en Gg de CO ₂ eq (1990-2010).	31
Figura 16. Impactos en las últimas décadas atribuidos al cambio climático.	33
Figura 17. Esquema simplificado del ciclo global del carbono.	49
Figura 18. Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal.	53
Figura 19. Ubicación de la Reserva de la Biósfera Sierra del Abra Tanchipa.	59
Figura 20. Mapa complementario, con Topografía, Uso de Suelo y Vegetación (2008) de la Reserva de la Biósfera Sierra del Abra Tanchipa.	60
Figura 21. Regiones biogeográficas de México y área de estudio.	64
Figura 22. Polígono de la Reserva de la Biósfera del Abra Tanchipa con clasificación de CVyUS.	71
Figura 23. Diseño de muestreo y selección de puntos de muestreo.	72
Figura 24. Área de distribución potencial de especies y su superposición con los principales procesos de cambio en las coberturas vegetales de San Luis Potosí, en el periodo 2002 a 2007.	95

ÍNDICE DE CUADROS

	<i>Página</i>
Cuadro 1. Composición del aire natural seco.....	8
Cuadro 2. Gases de Efecto Invernadero Naturales presentes en la atmósfera de la Tierra de Manera Natural.	15
Cuadro 3. Seis grandes extinciones ocurridas en el mundo a lo largo de millones de años..	18
Cuadro 4. Gases de Efecto Invernadero presentes en la atmósfera de la Tierra producidos de manera antrópica.	22
Cuadro 5. Gases de Efecto Invernadero Indirectos.....	23
Cuadro 6. Algunos sucesos sobre el avance de temas ambientales y cambio climático.	38
Cuadro 7. Municipios y ejidos que convergen en la RBAT. San Luís Potosí. México.	69
Cuadro 8. Clasificación de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo (CVyUS).	76
Cuadro 9. Extensión (ha) y porcentaje (%) por cada categoría forestal y no forestal, en el área de estudio.	77
Cuadro 10. Valores de carbono almacenado: captura potencial por categoría presente en el área de estudio.	79
Cuadro 11. Valoración económica del servicio ambiental captura de carbono, en diferente tipo de mercado tasado en USD.....	83
Cuadro 12. Comparativo de clasificación de cobertura vegetal de la RBAT.	87
Cuadro 13. Comparativo del carbono almacenado por hectárea en otras coberturas vegetales (MgC ha ⁻¹).	92
Cuadro 14. Coordenadas de sitios de muestreo de la RBAT.....	118

RESUMEN

Con el propósito de mitigar las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), se realizó una estimación del contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea en la Reserva de la Biósfera del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México.

Para ello se clasificó la cobertura vegetal y uso de suelo (CVyUS), obteniendo cuatro tipos de cobertura vegetal (de los cuales solo en tres se realizó dicha estimación) y cinco tipos de uso de suelo, se estimó la superficie en hectáreas (ha), así como sus porcentajes.

Se identificaron siete sitios a muestrear, en los que se aplicó un diseño de muestreo anidado, jerárquico, estratificado con distribución sistemática, a fin de obtener la hectárea (ha) tipo de contenido de carbono y así disminuir la incertidumbre.

La cobertura vegetal que presentó una mayor cantidad de carbono almacenado corresponde a la cobertura de selva mediana subcaducifolia con 120 MgC ha^{-1} , con una captura potencial de $2.4 \text{ MgC ha}^{-1}\text{año}^{-1}$; por el contrario, la cobertura vegetal que obtuvo una menor cantidad de carbono almacenado corresponde a la cobertura de selva baja caducifolia con vegetación secundaria con un valor de 45.6 MgC ha^{-1} , y una captura potencial de $0.68 \text{ MgC ha}^{-1}\text{año}^{-1}$. Por otro lado, la cobertura vegetal que presentó una cantidad intermedia de carbono almacenado, fue la de la selva baja caducifolia con $82.29 \text{ MgC ha}^{-1}$, con una captura potencial de $1.24 \text{ MgC ha}^{-1}\text{año}^{-1}$.

Adicionalmente se valoró el costo de la captura de carbono anual o captura potencial de MgCO_2e , en el mercado voluntario de carbono: mercado nacional (con un valor de USD 1'020,371.97), mercado internacional americano (con un valor de USD 577,159.49) y mercado internacional europeo (con un valor de USD 627,250.48).

De acuerdo a los resultados obtenidos se propone que en la Reserva de la Biósfera del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México, se siga llevando a cabo la conservación del sitio con apoyo de las comunidades, y se le siga monitoreando a fin de poder ofertar este servicio ambiental, como alternativa para mitigar los gases de efecto invernadero como dióxido de carbono (CO_2).

ABSTRACT

In order to mitigate carbon dioxide (CO₂) emissions, an estimation of the carbon content and potential carbon capture in aerial biomass was made in the Abra Tanchipa Biosphere Reserve, San Luis Potosí, Mexico.

For this purpose, the vegetation cover and soil use (CVyUS) were classified, obtaining four types of vegetation cover (of which only three were made) and five types of land use; the area was estimated in hectares (ha) which includes the different vegetation cover and land use, as well as their percentages.

Seven sites to be sampled were identified, in which a nested, hierarchical, stratified sampling scheme with systematic distribution was applied in order to obtain the hectare (ha) type of carbon content and thus reduce uncertainty.

The vegetation cover with the highest amount of stored carbon corresponds to the deciduous medium forest cover with 120 MgC ha⁻¹, with a potential catch of 2.4 MgC ha⁻¹ año⁻¹; on the contrary, the vegetation cover that obtained a lower amount of stored carbon corresponds to the low deciduous forest cover with secondary vegetation presenting a value of 45.6 MgC ha⁻¹, with and a potential catch of 0.68 MgC ha⁻¹ year⁻¹. On the other hand, the vegetation cover recorded an intermediate amount of stored carbon, the coverage was that of the low deciduous forest with 82.29 MgC ha⁻¹, with a potential catch of 1.24 MgC ha⁻¹year⁻¹.

In addition, the cost of the annual carbon capture or potential capture of MgCO₂e, in the voluntary carbon market was valued: national market (with a value of 1'020,371.97 USD), American international market (with a value of 577,159.49 USD) and European international market (with a value of 627,250.48 USD).

According to the results obtained, it is proposed that the conservation of the site be continued with the support of the communities in the Abra Tanchipa Biosphere Reserve, San Luis Potosí, Mexico, and that it will continue to be monitored in order to be able to offer this environmental service, as an alternative to mitigate greenhouse gases like carbon dioxide (CO₂).

INTRODUCCIÓN

El clima global de la Tierra es el resultado de interacciones complejas entre atmósfera, hidrósfera, edafósfera, litósfera y biósfera (Isaza y Campos, 2007; IPCC, 1997). Esto se relaciona con el efecto invernadero, el cual es un sistema dinámico y en conjunto con la atmósfera, el promedio de la temperatura es de 14°C, gracias a la presencia de gases de efecto invernadero (GEI) lo que permite que, aproximadamente 70% de la energía solar que llega a la superficie del planeta sea absorbida, mientras que el 30% restante es reflejado por la Tierra hacia la atmósfera, así mismo parte de la radiación infrarroja es retenida por los GEI (IPCC, 2013b), dando origen a un efecto invernadero que ocurre de forma natural (IPCC, 2013b), ya que en ausencia de ellos se estima que la temperatura sería de -19°C (IPCC, 2001a) y, esto en conjunto permite la vida, tal cual se le conoce hoy (IPCC, 2001a; 2013b).

Debido a la presencia de GEI se origina el cambio climático, que es una variación estadísticamente significativa del estado global del clima o de su variabilidad durante un largo periodo (superior a una década) (Baena y Pueyo, 2006). Este suceso se lleva acabo de manera natural ya que el clima de la Tierra ha evolucionado en conjunto desde su formación y ha experimentado cambios climáticos, originados por causas astronómicas y geológicas (Amestoy, 2010; IPCC, 2013b).

Sin embargo se estima que a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, con el inicio de la revolución industrial, el aumento de las concentraciones de CO₂ (dióxido de carbono) y otros gases de efecto invernadero se incrementaron en la atmósfera, producidos a manera de contaminación; y causados principalmente por el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) (Amestoy, 2010); ejemplo de ello es la Gran Niebla de 1952 en Londres, producida por la quema excesiva de carbón (Greater London Authority, 2002), así como la tala, quema de bosques y algunos métodos de explotación agropecuaria (Amestoy, 2010). Esto conduce a una mayor retención de calor y por lo tanto un aumento en la temperatura del planeta, como resultado se genera un cambio climático atribuido directa o indirectamente a la actividad humana (IPCC, 2001a; 2013b).

Algunos GEI pueden continuar aumentando durante siglos incluso con emisiones reducidas, y algunas de sus consecuencias son el derretimiento de los casquetes polares, la pérdida de ecosistemas y el aumento de enfermedades, entre otros (IPCC, 2007a).

En la actualidad los datos de temperatura de la superficie terrestre y oceánica, combinados y promediados globalmente, y calculados a partir de una tendencia lineal, muestran un calentamiento de 0.85 [0.65 a 1.06]°C estimado desde el periodo 1880-2012 sobre la temperatura promedio de la Tierra (IPCC, 2013b).

Una opción para evitar que los impactos por actividades e infraestructura humana sigan en aumento es llevar a cabo la conservación y preservación de ecosistemas de Áreas Naturales Protegidas (ANP), a través de la captura de carbono. De acuerdo con la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) es catalogado como un servicio ambiental. Dicho proceso es realizado por la vegetación a través de la fotosíntesis, logrando contener grandes cantidades de carbono y mitigando las emisiones del principal GEI (CO₂), con ello contribuyendo a la regulación de la temperatura y humedad a nivel regional (CONAFOR, 2004).

Tomando en cuenta lo anterior, surgió una iniciativa para realizar la mitigación y adaptación al cambio climático. En 2008 el Ministerio de Ambiente de la República Federal de Alemania (BMU), a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), realizó el proyecto denominado “*Corredor Ecológico Sierra Madre Oriental y Lagunas Costeras -a Climate Protection Initiative in Protected Areas in Mexico*”, impulsado a través de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) en el año 2010.

Dicho proyecto permitió que se llevara a cabo el estudio de la estimación de captura de carbono como medio para la mitigación de gases de efecto invernadero, en la Reserva de la Biósfera del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México, y esta podría ser apta para la aplicación de programas como el Pago por Servicio Ambiental (PSA), para generar beneficios económicos hacia la población y evitar las actividades de tala clandestina, fractura de ecosistemas y pérdida de biodiversidad, impulsando y desarrollando así la conservación de la región (CONAFOR, 2004).



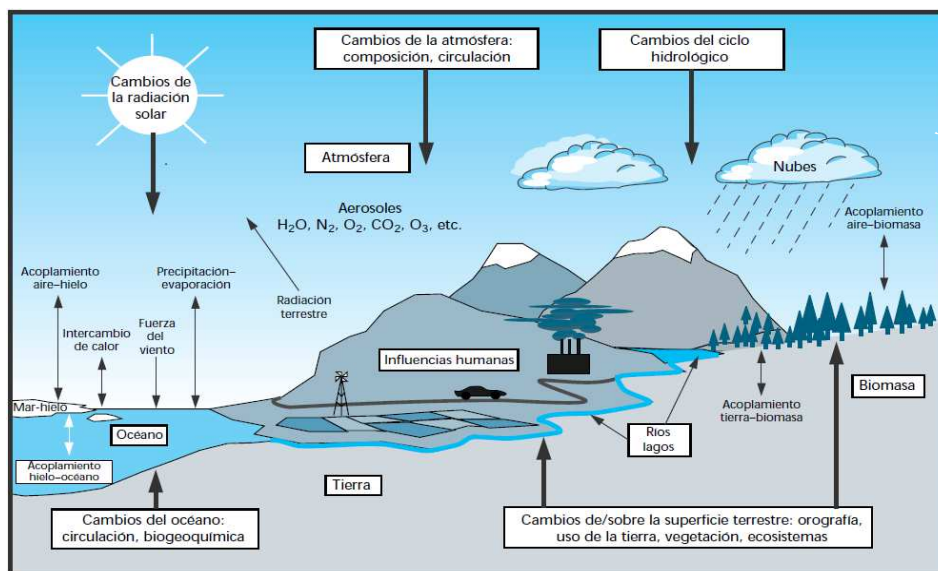
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1 EL PLANETA TIERRA: UN SISTEMA DINÁMICO

1.1 PLANETA TIERRA: UN SISTEMA DINÁMICO

La radiación procede del Sol, que es una de las 10^{11} estrellas de la Vía Láctea, y tiene una vida media de 11 000 millones de años, de los cuales el Sol ha consumido aproximadamente la mitad, y es una variable clara en la naturaleza, ya que tiene influencia sobre la temperatura de la Tierra (Llebot, 1999).

La absorción de la radiación solar tiene lugar esencialmente en la superficie del planeta Tierra, debido a esto, se encuentra con una temperatura superior, a diferencia de lo que estaría el planeta en ausencia de la misma, y en consecuencia hay un continuo transporte de energía por la atmósfera y los océanos (Llebot, 1999), lo que origina que el sistema climático del planeta Tierra tenga interacciones complejas (Figura 1) entre biósfera, atmósfera, hidrósfera, edafósfera y criósfera (IPCC, 1997).



Fuente: IPCC, 1997.

Figura 1. Sistema climático del planeta Tierra.

Visión esquemática de los componentes del sistema climático mundial que revisten importancia para los cambios climáticos a escala temporal de siglo (negrita), sus procesos e interacciones (flecha fina) y algunos elementos que pueden cambiar (flecha negra).

1.1.1 Atmósfera

La Tierra está rodeada de una capa gaseosa denominada atmósfera es delgada y tenue; aproximadamente la mitad se encuentra a una altitud de 5,6 km y ocupa 60 km de espesor (Tarbuck y Lutgens, 2005). La densidad de la atmósfera no es uniforme, ya que disminuye a medida que aumenta la altitud (Domínguez, 2004).

La constitución actual de la atmósfera la hace ser rica en oxígeno, por su capacidad reductora a oxidante, que se asocia con la fotosíntesis de las cianobacterias y arqueobacterias, que contribuyeron a incrementar el oxígeno en una atmósfera primitiva (Seinfeld y Pandis, 2006 en Aguado, 2010), de esta forma desde los inicios se estableció una relación entre la vida y el ambiente (Kasting y Siefert, 2002; Dismukes *et al.*, 2001; Darwin, 1995 en Aguado, 2010).

La atmósfera protege del intenso calor solar y de las peligrosas radiaciones ultravioleta a los organismos, y tiene intercambios de energía, que se producen de manera continua entre la atmósfera y la superficie de la Tierra, y a su vez entre la atmósfera y el espacio, producen los efectos que se denominan tiempo y clima (Tarbuck y Lutgens, 2005).

1.1.1.1 Composición de la Atmósfera

La atmósfera es una capa de gas que rodea a la Tierra y es retenida por la acción de la gravedad. Está compuesta principalmente por Nitrógeno (78%) y Oxígeno (21%); y en menor proporción están presentes otros gases y vapores, como dióxido de carbono (CO₂), Agua (H₂O), Ozono (O₃), Argón (Ar), entre los más importantes. Sin embargo, varios de estos componentes desempeñan un rol fundamental en el resguardo de la temperatura en la Tierra; un ejemplo es el ozono que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta (Gil, 2006).

El nitrógeno y oxígeno constituyen esencialmente el aire atmosférico, cuya composición se mantiene constante en toda la ionósfera¹, mientras que la composición local de la atmósfera varía con la altitud y latitud (Castillo y Castellví, 2001).

¹ Ionósfera es aquella sección de la atmósfera, en que la proporción de los gases que la componen, es uniforme y éstos se mantienen prácticamente invariables, alcanza aproximadamente hasta los 80 km de altitud (Errazuriz *et al.*, 1998).

El aire natural seco (Cuadro 1) está formado básicamente por nitrógeno y oxígeno moleculares; y de tres componentes minoritarios: argón, dióxido de carbono y vapor de agua. El resto son componentes de una gran variedad de sustancias (Mendoza *et al.*, 1998).

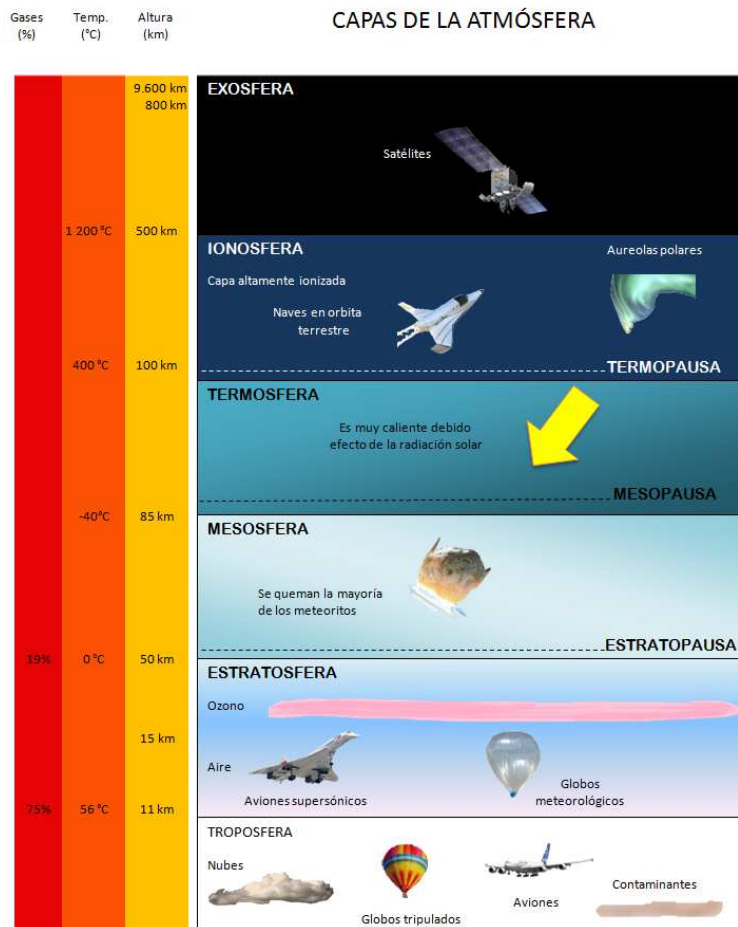
Cuadro 1. Composición del aire natural seco.

Sustancia	Fórmula química	Volumen % (aire seco)	Peso molecular g/mol
Nitrógeno	(N ₂)	78.08	28.02
Oxígeno	(O ₂)	20.95	32.00
Argón	(Ar)	0.934	39.88
Dióxido de carbono	(CO ₂)	0.314	44.00
Neón	(Ne)	0,00182	20.18
Helio	(He)	0,000524	4.00
Hidrógeno	(H ₂)	0,0000500	0.02
Ozono	(O ₃)	Indicios	48.00
Metano	(CH ₄)	0,000200	16.04
Criptón	(Kr)	0,000114	83.79
Óxido nitroso	(N ₂ O)	0,000025	44.01
Dióxido de nitrógeno	(NO ₂)	~0,000010	46.00
Monóxido de carbono	(CO)	~0,000010	28.01
Xenón	(Xe)	0,0000087	131.29
Amoniaco	(NH ₃)	0,0000010	17.03
Dióxido de azufre	(SO ₂)	~0,000002	64.06
Yodo	(I)	Indicios	126.90
Otros hidrocarburos	s/d	Indicios	s/d
Vapor de agua	H ₂ O(l)	Variable	18.01

Fuente: Modificado de Mendoza *et al.* 1998; WEBQC.Org, 2016.

1.1.1.2 Capas de la Atmósfera

La Atmósfera, cuyo espesor es de 800 km aproximadamente, está integrada por capas (Figura 2) que no tienen fronteras visibles, y a mayor altitud la densidad de la atmósfera disminuye hasta perderse gradualmente en el vacío (Domínguez, 2004).



Fuente: Modificado de Bueche, 2004; Domínguez, 2004; Galeana, 2008; Gil, 2006.

Figura 2. Capas de la Atmósfera.

1.1.2 Hidrósfera

La hidrósfera incluye océanos, lagos interiores, ríos y aguas subterráneas. Esta capa absorbe la mayor parte de la radiación solar incandescente como consecuencia de su gran masa ($1,30 \times 10^{21}$ kg) y de su capacidad calorífica, constituye una gran reserva de energía solar, y causa de su inercia térmica los océanos actúan como reguladores de la temperatura estacional, ya sea en meses, siglos o milenios (Llebot, 1999).

La atmósfera y los océanos están fuertemente acoplados e interaccionan en muchas escalas espaciales y temporales intercambiando energía, vapor de agua y velocidad a través de la precipitación, evaporación o de la acción del viento; sin embargo, el intercambio temporal de los océanos es mucho más lento, que el correspondiente a los fenómenos atmosféricos (Llebot, 1999).

1.1.3 Criósfera

La criósfera es una capa de hielo superficial que puede estar contemplada en la hidrósfera o bien sobre la litosfera. El 2% del agua del planeta está helada y de este porcentaje, el 80% es agua dulce en la región de Groenlandia (8.6%) y la Antártida (89%), así como en otros glaciares continentales y campos de nieve. Los cambios estacionales de la criósfera producen grandes variaciones de reflectividad, respecto a la radiación solar. A causa de su baja conductividad térmica el hielo actúa como aislante térmico, evitando la emisión a la atmósfera de considerables cantidades de radiación, por lo que la criósfera juega un papel clave en las variaciones climáticas en una escala de miles de años (Llebot, 1999).

1.1.4 Litósfera

La Litósfera o también llamada “esfera de roca”, es una capa definida por sus propiedades físicas, la cual abarca la pedósfera que es la capa de suelo que rodea la Tierra, corteza oceánica, corteza continental y el manto superior, formando un nivel relativamente rígido, frío y resistente. Tiene un grosor medio de 100 kilómetros, y puede alcanzar hasta 250 km debajo de las porciones más antiguas de los continentes (Tarbuck y Lutgens, 2005).

1.1.5 Biósfera

La biósfera comprende la vida presente en la Tierra, algunos ejemplos son la cubierta vegetal y la fauna (Llebot, 1999). La vegetación tiene incidencia fundamental en el ciclo del carbono mediante la fotosíntesis, y altera la capacidad del suelo en retener agua, determina la evaporación y la reflexión por el efecto albedo² además de ser muy sensible a los cambios del clima. (Llebot, 1999).

² Albedo, es la fracción de la radiación incidente que es reflejada por una superficie; etimológicamente significa “blancura” (Garduño, 2003).

1.2 CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO

CLIMÁTICO

*Fuente: Luis Enrique Otero
Carvajal*

1.2 CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO

1.2.1 Calentamiento Global

De acuerdo al Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el calentamiento global o sobrecalentamiento de la Tierra es el detonante del cambio climático. Esto no implica que el globo terráqueo se esté calentando uniformemente o que en todo el planeta estén aumentando las temperaturas, pues hay cambios diferenciados por regiones en las variables climáticas, como la temperatura, humedad relativa, precipitación, circulación de vientos atmosféricos y corrientes marinas (López, 2009).

1.2.2 Efecto Invernadero

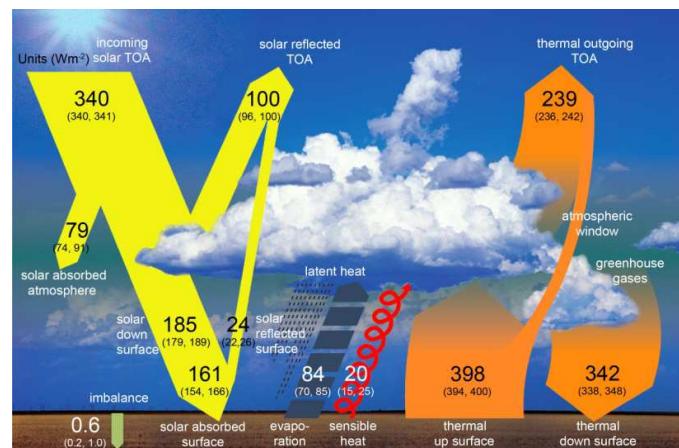
Se denomina Efecto Invernadero Natural al proceso en el que los gases de efecto invernadero absorben radiación infrarroja y atrapan el calor dentro de la atmósfera en la troposfera terrestre (IPCC, 2001a), con ello se calienta la superficie de la Tierra, ya que en ausencia de dicho efecto, la temperatura promedio de la superficie terrestre estaría por debajo del punto de congelamiento del agua (IPCC, 2007c).

El efecto invernadero inicia cuando el Sol irradia energía en longitud de ondas cortas en la parte visible o casi visible (por ejemplo ultravioleta) del espectro. Aproximadamente una tercera parte de la energía solar que alcanza la zona superior de la atmósfera terrestre se refleja de forma directa de nuevo al espacio, mientras las dos terceras partes restantes son absorbidas por la superficie y, en menor magnitud, por la atmósfera. Para equilibrar la energía entrante absorbida, la Tierra debe irradiar como promedio la misma cantidad de energía al espacio; sin embargo como la Tierra es mucho más fría que el Sol, ésta irradia en longitudes de onda mucho más largas, sobre todo en la parte infrarroja del espectro (Figura 3 y Figura 4) y la atmósfera, con la participación de las nubes, absorbe gran parte de esta radiación térmica emitida por los suelos y el océano, así la vuelve a irradiar a la Tierra. A este hecho se le denomina efecto invernadero (IPCC, 2007c).



Fuente: IPCC, 2007c.

Figura 3. Modelo idealizado del efecto invernadero natural.



Fuente: Adaptado de Wild *et al.* 2013 en IPCC, 2013a.

Figura 4. Presupuesto global de energía media, bajo las condiciones climáticas actuales.

Los números indican magnitudes de los flujos de energía individuales en $W m^{-2}$, los números entre paréntesis adjuntos a los flujos de energía cubren la gama de valores en línea con las restricciones observacionales

El efecto invernadero es la consecuencia natural de la acumulación de los “Gases integrantes de la atmósfera que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes” (IPCC, 2001a), son responsables de la absorción de la energía y por lo tanto se genera un efecto invernadero, dichos gases son: el vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), ozono (O_3), óxido nitroso (N_2O) (Cuadro 2) (Figuerola *et al.*, 2007).

En cuanto a su importancia por abundancia relativa en la atmósfera de forma natural, el vapor de agua es el gas de efecto invernadero que ocupa el primer lugar y el dióxido de carbono (CO₂) es el segundo. El metano, el óxido nitroso, el ozono y varios otros gases presentes en la atmósfera en pequeñas cantidades contribuyen también al efecto invernadero (IPCC, 2007c).

Debido a que los compuestos y cuerpos responden de diferentes maneras a las radiaciones electromagnéticas (según la longitud de onda de las mismas), la capacidad de absorber energía de la radiación de onda larga que poseen algunos gases, tiene como consecuencia la generación de una nueva radiación de calor de regreso hacia el suelo. De este modo, cuando su concentración aumenta, la radiación refractada al espacio exterior es menor, y la temperatura que adquiere el planeta se eleva (Barros, 2005); por ello la temperatura media en la Tierra es de 14°C; y en el supuesto de que la atmósfera no existiera con sus respectivos gases de efecto invernadero, la temperatura se estima en -19°C (IPCC, 2001a).

De no existir una atmósfera y los gases que causan el efecto invernadero, sería poco probable la vida en la Tierra tal cuál la conocemos; ya que se perdería la energía térmica que se emite a partir de la energía radiante solar que recibe el planeta Tierra (Figuroa *et al.*, 2007).

Cuadro 2. Gases de Efecto Invernadero Naturales presentes en la atmósfera de la Tierra de Manera Natural.

Gases De Efecto Invernadero presentes en la atmósfera de la Tierra de manera natural	Gas de Efecto Invernadero	Fórmula química	Fuente	GPW (Horizonte para 100 años)	TP (años)
	Vapor de agua (Tamames, 2011)	(H ₂ O)	Evaporación (Tamames, 2011).	- (Tamames, 2011)	<1 (Tamames, 2011)
	Dióxido de carbono (INECC, 2016b)	(CO ₂)	Fotosíntesis, la respiración, la descomposición y el intercambio gaseoso de gas de la superficie (IPCC, 2007a).	1 (PCC, 2015)	5 - 200 (Homero y Gasca, 2010) No se puede asignar un único período de duración al CO ₂ (IPCC, 2015)
	Metano (INECC, 2016b)	(CH ₄)	Producido por humedales termitas, los océanos, la vegetación y los hidratos de metano (IPCC, 2007a).	28 (*SEMARNAT, 2015; IPCC, 2015)	12.4 (IPCC, 2015)
	Óxido nitroso (INECC, 2016b)	(N ₂ O)	Se encuentra en los océanos, la oxidación química del amoníaco en la atmósfera y los suelos (IPCC, 2007a).	265 (*SEMARNAT, 2015; IPCC, 2015)	121 (IPCC, 2015)

Fuente: Compendio de diferentes autores.

Nota: *SEMARNAT (2015), reporta su actualización del Potencial de calentamiento global, pero no indica en que horizonte (tiempo).

GWP= Por sus siglas en inglés Global-Warming-Potential, en español= Potencial de Calentamiento Global referido al CO₂.

TP= Tiempo de permanencia estimada en la atmósfera en años.

1.2.3 Cambio Climático

Svante Arrhenius (1859-1927) fue el primer enunciador de la teoría sobre el calentamiento global como consecuencia de las actividades humanas, realizó estudios sobre la ionización³ de los electrólitos⁴ (1887), por los que se le concedió el Premio Nobel. Así mismo señaló que, debido a la actividad industrial y la combustión (Tamames, 2011), eventualmente se tendrá un impacto sobre el clima global de la Tierra (Amestoy, 2010).

El cambio climático se define de acuerdo al IPCC (2014c) como “variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos, generalmente decenios o periodos

³ Ionización, es el proceso de formación de uno o más iones, un ion es un átomo o agrupación de átomos de carga eléctrica neta (Costa, 2005).

⁴ Un electrolito, es una sustancia que se disocian en disolución, en partículas con carga eléctrica llamadas iones. La disociación no es completa; se produce un equilibrio entre las moléculas no disociadas y los iones formados en la disociación (Gutiérrez, 1985).

prolongados, y puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo”.

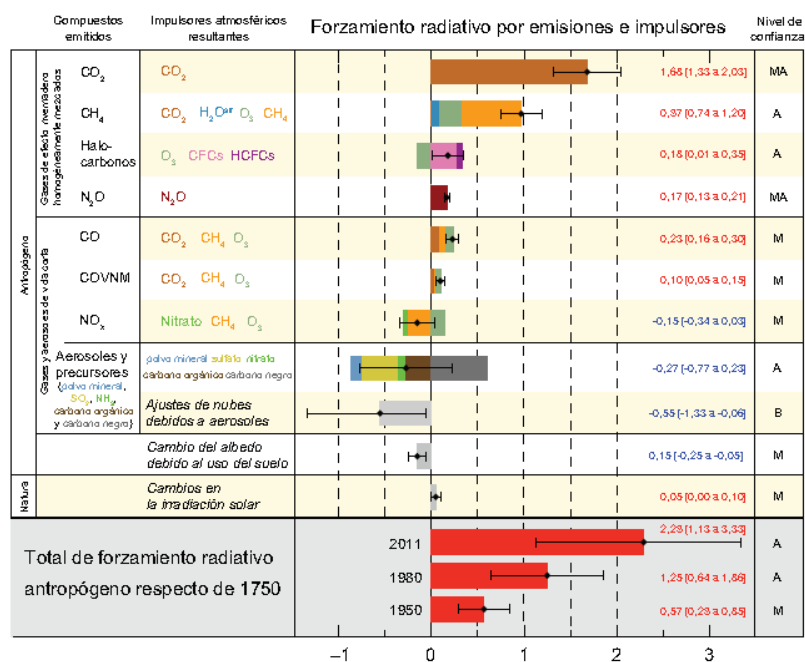
La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables”. Menciona CMNUCC la diferencia entre el cambio climático que se le atribuye a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica, y la variabilidad climática que se le atribuye a causas naturales (IPCC, 2014a).

1.2.3.1 Forzamiento Radiativo de Gases de Efecto Invernadero

La superficie terrestre y los mares absorben radiación solar que es distribuida por las circulaciones atmosféricas y oceánicas. El cambio de energía neta del sistema tierra-océano-atmósfera se le denomina forzamiento radiativo, que puede ser positivo calentando la superficie de la Tierra, mar y atmósfera interior, o forzamiento radiativo negativo que enfría; es decir el cambio climático significa calor ocasional en algunas regiones y frías en otras, aún cuando genéricamente se hable de calentamiento global (López, 2009).

La evolución temporal del forzamiento radiativo antropógeno total muestra un aumento casi continuo desde 1750, principalmente desde 1860 aproximadamente. La tasa de aumento del forzamiento radiativo antropógeno total desde 1960 ha sido mucho más alta que durante los periodos anteriores a la era industrial, en gran parte se debe al aumento continuo de las concentraciones de los gases de efecto invernadero homogéneamente mezclados (Figura 5) (IPCC, 2013b).

El forzamiento radiativo correspondiente a la era industrial en lo que respecta únicamente al CO₂ es de 1,82 [1,63 a 2,01] Wm⁻². Durante los últimos 15 años, el CO₂ ha sido el factor que más ha contribuido al aumento del forzamiento radiativo de los gases de efecto invernadero homogéneamente mezclados, teniendo en cuenta que el CO₂ tiene una tasa media de incremento levemente inferior a 0,3 Wm⁻² por decenio (IPCC, 2013b).



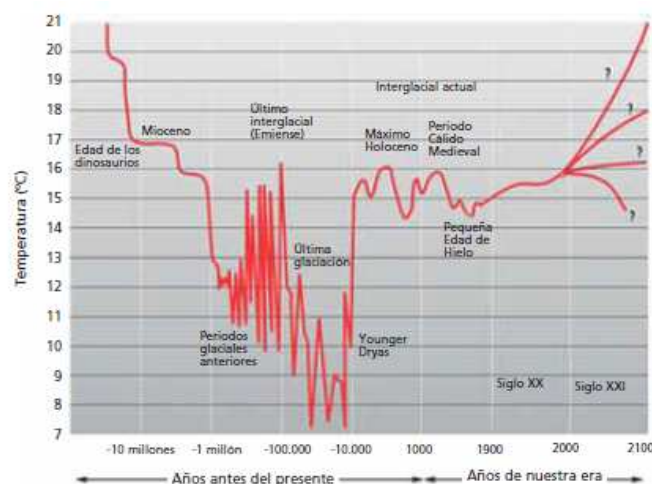
Fuente: IPCC, 2013b.

Figura 5. Estimaciones de forzamiento radiativo en 2011 respecto de 1750, e incertidumbres agregadas.

1.2.3.2 Cambio Climático en la Historia de la Tierra

A lo largo del tiempo geológico, se han verificado cambios en la temperatura de la Tierra producidos por modificaciones en la energía del Sol, cambio en la rotación, cambio de inclinación de órbita de la Tierra (Conde, 2007), por la influencia de otros astros del sistema solar o por glaciaciones, que ocurren en el transcurso de millones de años (Tamames, 2011), y conducen a cambios climáticos naturales en todo el planeta (Conde, 2007). A esto se denomina cambio climático global de tipo regular (Figura 6) (Tamames, 2011).

En el registro fósil a escalas de tiempo geológico, el clima global ha experimentado periódicamente grandes oscilaciones entre las fases cálidas, libres de hielo, y fases heladas, con capas continentales de hielo, y a causa de ello se estima que han ocurrido al menos seis grandes periodos de modificación de la temperatura y en conjunto seis extinciones masivas de organismos vivos, (Cuadro 3) en el transcurso de millones de años (Alvarado, 2007).



Fuente: Australian Government, 2006.

Figura 6. Cambio climático a escala geológica.
Eje X de tiempo está representado en escala logarítmica.

Cuadro 3. Seis grandes extinciones ocurridas en el mundo a lo largo de millones de años.

Orden de extinción	Tiempo geológico	Descripción
Primera	Eón: Fanerozoico	Se debió a cambios climáticos que ocasionaron la desaparición de más de la mitad de las especies que habitaban en ese entonces en los mares.
	Era: Paleozoica	
	Periodo: Ordovícico	
Segunda	Eón: Fanerozoico	Se atribuye a cambios climáticos, que causó la desaparición cerca del 70% de las especies, principalmente de las comunidades marinas.
	Era: Paleozoica	
	Periodo: Devónico	
Tercera	Eón: Fanerozoico	Se considera la mayor extinción masiva de la historia. Ocasionó la desaparición del 96% de todas las especies marinas y tres cuartas partes de las familias de vertebrados terrestres, que se atribuye a cambios climáticos.
	Era: Paleozoica	
	Periodo: Pérmico	
Cuarta	Eón: Fanerozoico	Se atribuye a un incremento en la precipitación pluvial debido a un cambio climático, se extinguieron cerca de la mitad de las especies dando lugar a la proliferación de los dinosaurios.
	Era: Mesozoica	
	Periodo: Jurásico	
Quinta	Eón: Fanerozoico	Se considera la segunda mayor extinción masiva, pues el 85% de todas las especies existentes murieron, entre ellas los dinosaurios.
	Era: Mesozoica	
	Periodo: Cretácico	
Sexta	Eón: Fanerozoico	Dio inicio cuando los primeros humanos modernos, hace 10,000 años, comenzaron a dispersarse en diferentes partes del mundo. La deforestación, la caza desmedida, la contaminación y otras actividades humanas han ocasionado que numerosas especies estén amenazadas actualmente.
	Era: Cenozoica	
	Periodo: Cuaternario	

Fuente: Modificado de Alvarado, 2007.

1.2.3.3 La Revolución Industrial como Inicio del Cambio Climático Actual

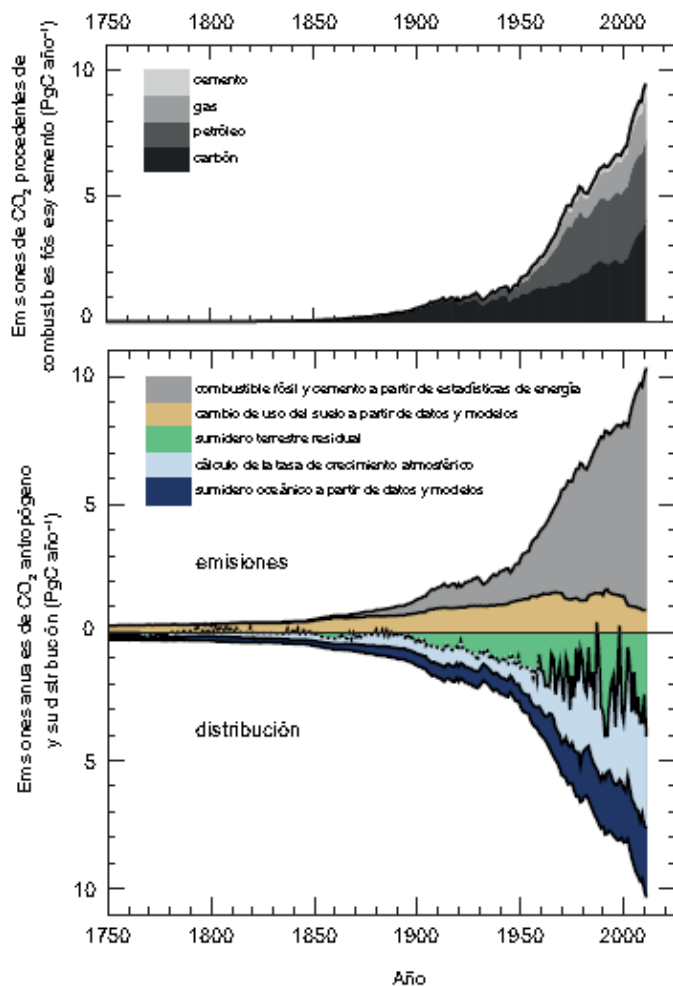
El cambio climático global por causas antropogénicas, comienza con la Revolución Industrial y se ha mantenido hasta la actualidad, a partir de los procesos industriales que se realizan por la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas y sus derivados, como la gasolina). Los gases producidos por estas actividades se liberan a la atmósfera cambiando su composición (Conde, 2007).

La Revolución Industrial tiene un inicio y/o primera etapa, en el siglo XVIII, en Inglaterra entre los años 1760 y 1870 (Otero y Mata, 2005), con una serie de inventos técnicos que iban modificando las condiciones de producción, debido al aumento demográfico (Bairoch, 1964) lo cual ocasionó un creciente consumo de carbón para las fábricas y la calefacción de los hogares (Tamames, 2011). La segunda Revolución Industrial y/o segunda etapa, en el siglo XIX, entre los años 1870 a 1914 (Otero y Mata, 2005), trajo el avance industrial y la motorización, y con ella la producción en serie, la innovación del motor de combustión interna, el desarrollo de la petroquímica y la invención de materiales como el plástico, con un mayor volumen de emisiones de GEI (Tamames, 2011). Se estima que desde entonces, la actividad humana ha modificado y continúa modificando la superficie de la Tierra y la composición de la atmósfera (IPCC, 2013b) como sucede con la cantidad de GEI, entre ellos, el bióxido de carbono (CO_2). Se estima que desde 1750 a 2011, las emisiones de CO_2 procedentes de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento liberaron 375 [345 a 405] PgC^5 (IPCC, 2013b), redistribuyendo los gases de efecto invernadero que ya no se pueden liberar al espacio, lo que ha provocado un sobre calentamiento en la temperatura media global del planeta (Conde, 2007).

Este suceso representa el problema ambiental más grave que enfrenta la humanidad en el presente siglo, y es derivado del incremento en las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) provenientes de dos principales fuentes (Figura 7) de acuerdo a Ordóñez (2008b):

1. El consumo de combustibles fósiles.
2. Procesos como la deforestación e incendios forestales.

⁵ 1 petagramo de carbono = 1 PgC = 10^{15} gramos de carbono = 1 gigatonelada de carbono = 1 GtC . Esto corresponde a 3,667 GtCO_2 (IPCC, 2013b).



Fuente: IPCC, 2013b.

Figura 7. Emisiones anuales de CO₂ antropógeno y su distribución en la atmósfera, la tierra y los océanos (PgC año⁻¹) de 1750 a 2011.

(Parte superior) Emisiones de CO₂ derivadas de los combustibles fósiles y del cemento por categoría, según las estimaciones del Centro de Análisis de la Información sobre el Dióxido de Carbono (CDIAC). (Parte inferior) Las emisiones de CO₂ derivadas de la variación neta del uso de suelo, principalmente la deforestación, se basan en datos del cambio de la cubierta terrestre. La tasa de aumento de CO₂ en la atmósfera en un período anterior a 1959 se basa en una aproximación interpolada de observaciones del núcleo de hielo y en resumen de las mediciones atmosféricas desde 1959. El ajuste a las observaciones del núcleo del hielo no detecta la amplia variabilidad interanual del CO₂ atmosférico y está representado por una línea discontinua. El sumidero oceánico de CO₂ resulta de una combinación de modelos y observaciones. El sumidero terrestre residual (término indicado en verde en la figura) se calcula a partir de la cantidad residual de los demás términos. Las emisiones y su distribución incluyen únicamente los flujos que han cambiado desde 1750, en lugar de los flujos naturales de CO₂ (por ejemplo, la absorción de CO₂ por la atmósfera de la descomposición y emisión de gases de CO₂ de lagos, ríos y emisión de gases de CO₂ por los océanos del carbono liberado por los ríos para los flujos entre los reservorios atmosféricos, terrestres y oceánicos antes de esa época y que aún perduran.

1.2.3.4 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por Causas Antropógenas

A causa de la emisión de GEI desde la era industrial por las actividades humanas, se han añadido nuevos gases a la atmósfera, no sólo a través de la quema de combustibles fósiles y la eliminación de bosques, sino, debido a otras actividades como la agricultura, ganadería, uso de fertilizantes, uso de refrigerantes, uso de aerosoles, entre otros. De acuerdo a IPCC (2007a) se tiene una clasificación y registro de dichos gases (Cuadro 4), además del tiempo de permanencia en la atmósfera, ya que pequeñas variaciones de estos provocan incrementos en la concentración, de lo que resulta su permanencia durante décadas o incluso siglos (Ordóñez *et al.*, 2007).

El persistente calentamiento de la atmósfera hace que el permafrost⁶ de las regiones que rodean al océano Ártico, como los sedimentos de fondos marinos, estén comenzando a liberar grandes cantidades de metano a la atmósfera, a medida de que la tundra va descongelándose y el mar calentándose (Tamames, 2011).

El vapor de agua, a pesar de tener dos bandas de absorción intensas, no influye de manera importante sobre el efecto invernadero antropogénico, pues su concentración está regulada por el ciclo hidrológico. Sin embargo, el CO₂ es el gas de efecto invernadero por excelencia puesto que, tiene una capacidad para absorber la radiación procedente de la superficie terrestre y, sobre todo, por ser emitido a la atmósfera en grandes cantidades, por lo que es el causante del 64% del calentamiento global (Ordoñez *et al.*, 2007).

El efecto directo o indirecto de un GEI se da por el hecho de la forma en la que influye acortando o alargando el tiempo de permanencia de otros gases, debido a las interacciones entre ellos, por consiguiente, los GEI indirectos tienen la capacidad de incidir en la concentración atmosférica de otros gases de efecto invernadero (Cuadro 5) (IPCC, 2007a).

⁶ El permafrost es el suelo existente en el entorno del Ártico y bajo el océano y que permanece helado (Amestoy, 2010).

Cuadro 4. Gases de Efecto Invernadero presentes en la atmósfera de la Tierra producidos de manera antrópica.

	Gas de Efecto Invernadero	Fórmula química	Fuente	GPW (Horizonte para 100 años)	TP (años)
Gases De Efecto Invernadero presentes en la atmósfera de la Tierra de manera antrópica	Perfluorometano (PFC-14) (IPCC, 2007d)	(CF ₄)	Productos utilizados en la producción primaria de aluminio, y de la incineración de plásticos y cerámicas. Otros focos minoritarios de contaminación tienen lugar en los equipos de refrigeración, en el sector electrónico y en los sistemas de extinción de incendios (Gobierno de España, 2016c). Son producidos comercialmente, usados en sustitución de los clorofluorocarbonos. Los HFCs se utilizan ampliamente en refrigeración y en fabricación de semiconductores (IPCC, 2007b).	7,390 (IPCC, 2007d)	50,000 (IPCC, 2007d)
	Perfluoroetano (PFC-116) (IPCC, 2007d)	(C ₂ F ₆)		12,200 (IPCC, 2007d)	10,000 (IPCC, 2007d)
				14,800 (IPCC, 2007d)	
		HFC-23 (CHF ₃) (IPCC, 2007d)		*12,400 (SEMARNAT, 2015)	270 (IPCC, 2007d)
	Hydrofluorocarbonos (HFC) (SEMARNAT, 2015; IPCC, 2007d)	Tetrafluoroetano HFC-134a (CH ₂ FCF ₃) (IPCC, 2007d)		1,430 (IPCC, 2007d)	
		1,1 Difluoroetano HFC-152a (CH ₃ CHF ₂) (SEMARNAT, 2015 e IPCC, 2007d)		*1,300 (SEMARNAT, 2015)	14 (IPCC, 2007d)
				124 (IPCC, 2007d)	
		*138 (SEMARNAT, 2015)	1.4 (IPCC, 2007d)		
	Perfluorocarbonos (IPCC, 2007d)	Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	Subproductos de la fundición del aluminio y del enriquecimiento del uranio (IPCC, 2007b).	22,800 (IPCC, 2007d)	3,200 (IPCC, 2007d)
Gases De Efecto Invernadero presentes en la atmósfera de la Tierra de manera antrópica que destruyen la capa de ozono	Clorofluorocarbonos (CFC) (IPCC, 2007d)		Productos utilizados para refrigeración, aire acondicionado, empaquetado, aislamiento, disolventes o propelentes para aerosoles (IPCC, 2001b).	4,750 (IPCC, 2007d)	
		CFC-11 (CCl ₃ F)		*4,660 (SEMARNAT, 2015)	45 (IPCC, 2007d)
		Halón-1301 CBrF ₃ (IPCC, 2007d)	Utilizado como agente extintor de gas licuado a alta presión (Gobierno de España, 2016a).	7,140 (IPCC, 2007d)	65 (IPCC, 2007d)
	Halones (SEMARNAT, 2015; IPCC, 2007d)	Bromoclorodifluorometano Halón-1211 CBrClF ₂ (SEMARNAT, 2015; IPCC, 2007d)	Producto utilizado como extintor de fuegos eléctricos y por láser (Fuller, 2009).	1,890 (IPCC, 2007d)	
				*1,750 (SEMARNAT, 2015)	16 (IPCC, 2007d)
	Hydroclorofluorocarbonos (HCFC) (SEMARNAT, 2015; IPCC, 2007d)	Clorodifluorometano HCFC-22 (CHClF ₂) (SEMARNAT, 2015; IPCC, 2007d)	Utilizado en equipos de refrigeración, tanto en estado operativo, como al final de su vida útil. También se encuentran presentes en aerosoles, pinturas, barnices, etc. (Gobierno de España, 2016b).	1,810 (IPCC, 2007d)	
			*1,760 (SEMARNAT, 2015)	12 (IPCC, 2007d)	

Fuente: Compendio de diferentes autores.

Nota: *SEMARNAT (2015), reporta su actualización del Potencial de calentamiento global, pero no indica horizonte (tiempo).

GWP= Por sus siglas en inglés Global-Warming-Potential, en español= Potencial de Calentamiento Global referido al CO₂.

TP= Tiempo de permanencia estimada en la atmósfera en años.

1.2.4 Emisiones Actuales de los Principales GEI

1.2.4.1 A Nivel Mundial

1.2.4.1.1 Dióxido de Carbono

De 1750 a 2011, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) procedentes de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento liberaron 375 [345 a 405] PgC⁹; la tasa de aumento de las emisiones de combustibles fósiles es más alta, que la registrada durante la década de 1990 (1,0% año⁻¹) (IPCC, 2013b). En 2011, las emisiones de combustibles fósiles eran de 9,5 [8,7 a 10,3] PgC año⁻¹, y se estima que el cambio de uso de suelo, principalmente por la deforestación ha liberado 180 [100 a 260] PgC (IPCC, 2013b).

En las emisiones derivadas del cambio de uso del suelo observadas entre 2002 y 2011 predomina la deforestación tropical y se estiman en 0,9 [0,1 a 1,7] PgC año⁻¹ (nivel de confianza medio (IPCC, 2013b). Parte del dióxido de carbono emitido está siendo captado por los océanos, la biósfera y los suelos; pero cerca de la mitad se está acumulando en la atmósfera, originado un incremento en las concentraciones de GEI (Barros, 2005).

1.2.4.1.2 Metano

La concentración de metano (CH₄) ha aumentado durante la era industrial debido a la actividad antropógena, el incremento masivo del número de rumiantes, las emisiones derivadas de la extracción, el uso de combustible fósil, la expansión de los arrozales, las emisiones procedentes de los vertederos y desechos son las principales fuentes antropógenas de CH₄. Las emisiones antropógenas representan entre el 50% y el 65% de las emisiones totales, a lo que habría que agregarse las emisiones de dicho gas relacionado con las fugas en el sector de los combustibles fósiles y las fugas geológicas naturales, es actualmente de alrededor del 30% de las emisiones totales de CH₄ (IPCC, 2013b).

1.2.4.1.3 Óxido Nitroso

Desde la era preindustrial, la concentración de óxido nitroso (N₂O) en la atmósfera ha aumentado en un factor de 1,2. Los cambios en el ciclo del nitrógeno además de las interacciones con las fuentes y los sumideros de CO₂, afectan a las emisiones de N₂O tanto en tierra como en los océanos (IPCC, 2013b). El N₂O atmosférico se incrementó con

6% el año 2007, lo que ha provocado un forzamiento radiativo de 0,17 [0,14 a 0,20] Wm⁻². Las concentraciones de N₂O van a la alza, mientras que las de diclorodifluorometano (CF₂, Cl₂, CFC-12), son el tercer gas de efecto invernadero homogéneamente mezclado que más contribuyó al forzamiento radiativo durante varios decenios, y están disminuyendo gracias a la eliminación gradual de las emisiones de esta sustancia química, acordado en el marco del Protocolo de Montreal desde el año 1989; a su vez el N₂O ha superado al CFC-12 (IPCC, 2013b).

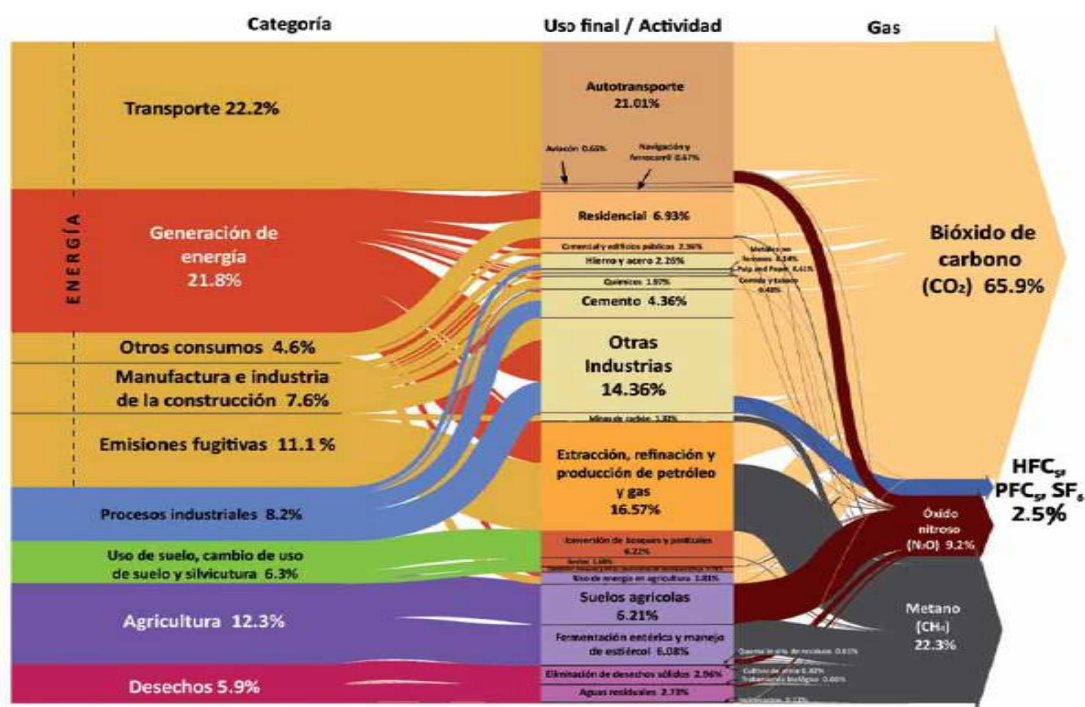
1.2.4.2 En México

Las emisiones de GEI para el 2010 en unidades de CO₂ equivalente (Figura 10) se estimaron en 748,252.1 Gigagramos (Gg)⁷, observando un incremento de 33.4% respecto al año base 1990, con una tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 1.5% (SEMARNAT e INECC, 2012).

La contribución de las emisiones de los GEI de las diferentes categorías en términos de CO₂ equivalente en 2010 es la siguiente de acuerdo a SEMARNAT e INECC (2012).

- Energía, 67.3% (503,817.6 Gg)
- Agricultura, 12.3% (92,184.4 Gg)
- Procesos industriales, 8.2% (61,226.9 Gg)
- Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, 6.3%(46,892.4 Gg)
- Desechos, 5.9% (44,130.8 Gg)

⁷ Un gigagramo (Gg) equivale a mil toneladas (INECC, 2013).



Fuente: SEMARNAT e INECC, 2012.

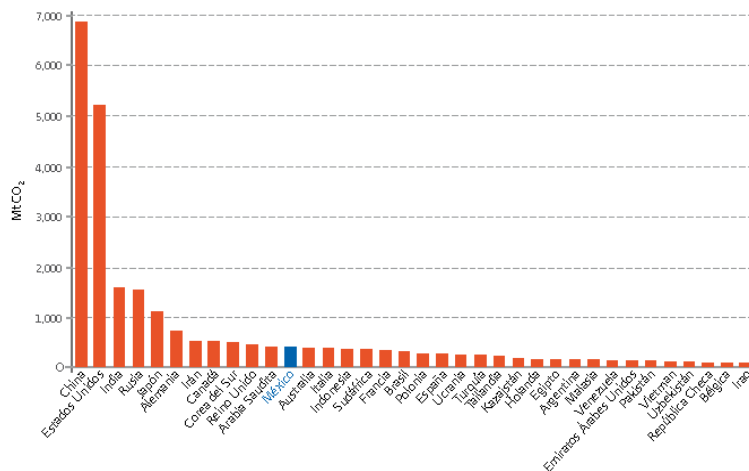
Figura 10. Diagrama de emisiones de GEI para México (2010).

1.2.4.2.1 Dióxido de Carbono

De acuerdo a las cifras reportadas por la Agencia Internacional de Energía (AIE) para el año 2009, a nivel mundial las emisiones globales de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles fue de 27,938.7 millones de toneladas, y México ocupó el lugar 12 de 36 países en las emisiones de CO₂ equivalente, con un total de 399.7 millones de toneladas de CO₂ equivalente, lo que representa 1.4% de las emisiones globales (Figura 11) (SEMARNAT e INECC, 2012).

Afirma SEMARNAT e INECC (2012) “Las tendencias en las emisiones son un reflejo de las variaciones en la producción y el consumo de combustibles fósiles, así como de los cambios en las actividades de producción agrícola, pecuaria, silvícola, industrial y de servicios, y de aquellas relativas al uso del suelo en el país”.

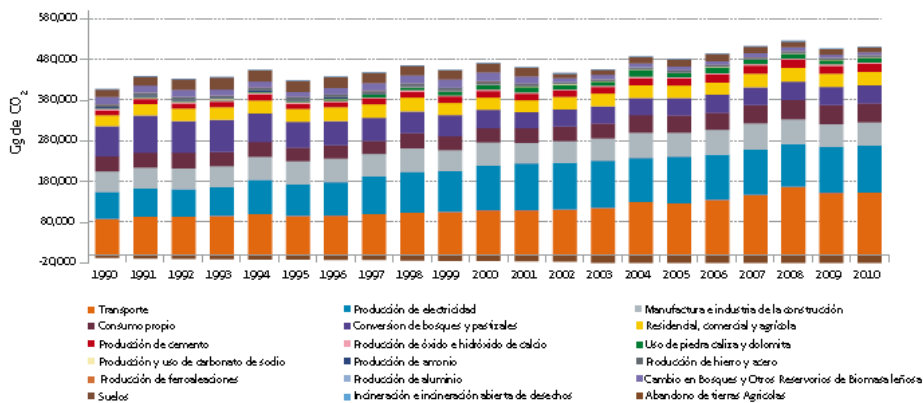
En 2009 las emisiones de CO₂ *per capita* considerando únicamente las emisiones por consumo de combustibles fósiles fueron de 3.75 toneladas por habitante, mientras que el promedio mundial fue de 4.1 toneladas de CO₂ *per cápita* (SEMARNAT e INECC, 2012).



Fuente: SEMARNAT e INECC, 2012.

Figura 11. Países con mayor contribución de CO₂ por quema de combustible fósil en 2009.

Reporta SEMARNAT e INECC (2012): “Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) para México fueron de 493,450.6 Gg en 2010, con una contribución de 65.9% al total del inventario y con un incremento de 23.6% con respecto a 1990. Las emisiones de CO₂ en el país provienen principalmente de la quema de combustibles fósiles, emisiones de gases de efecto invernadero (USCUSS) y procesos industriales” (Figura 12).



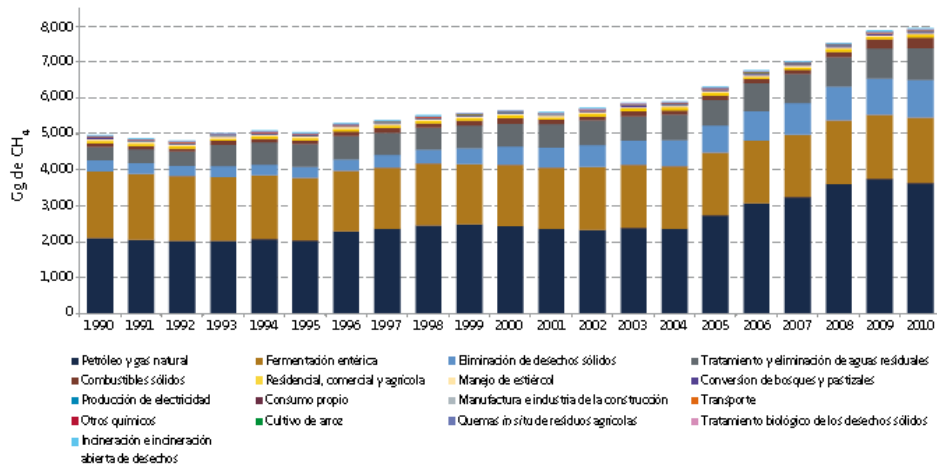
Fuente: SEMARNAT e INECC, 2012.

Figura 12. Emisiones por sector en Gg de CO₂ (1990-2010).

Los sectores con mayor contribución porcentual de emisiones de CO₂ en 2010 son: transporte con 31.1%, generación eléctrica con 23.3%, manufactura y construcción con 11.4%, consumo propio de la industria energética con 9.6%, conversión de bosques y pastizales con 9.2% y otros (comercial, residencial y agropecuario) con 6.7%. Cinco de las fuentes de emisión pertenecen al consumo de combustibles fósiles (1A) de la categoría energía; y aportan 82.1% del total de CO₂ del inventario de GEI en México (SEMARNAT e INECC, 2012).

1.2.4.2.2 Metano

En 2010, las emisiones de metano (CH_4) fueron de 7,938.9 Gg, lo que representa un incremento de 59.8% con respecto a 1990. Las principales fuentes de emisión corresponden a las categorías de desechos, energía y agricultura. Los sectores con mayor contribución porcentual de emisiones de CH_4 en 2010 son: emisiones fugitivas por petróleo y gas natural con 45.9%; fermentación entérica con 22.8%; eliminación de desechos sólidos con 13.3%; tratamiento y eliminación de aguas residuales con 11.1% y emisiones fugitivas por combustibles fósiles con 3.9% (Figura 13) (SEMARNAT e INECC, 2012).



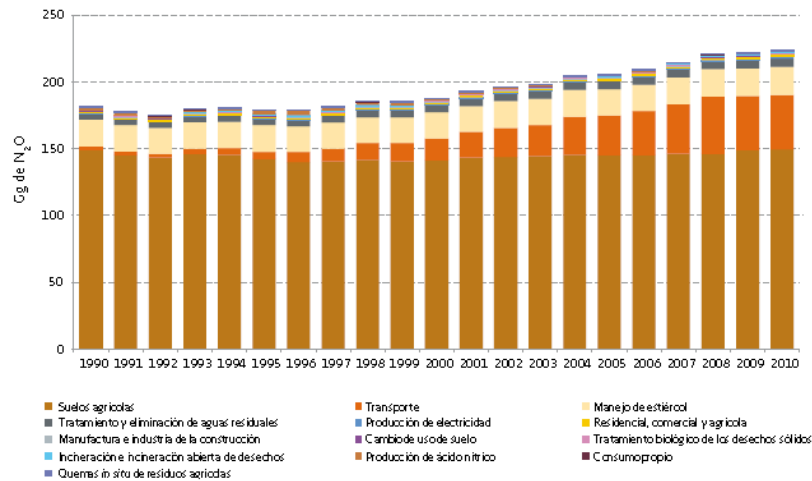
Fuente: SEMARNAT e INECC, 2012.

Figura 13. Emisiones por sector en Gg de CH_4 (1990-2010).

Las emisiones por eliminación de desechos sólidos se incrementaron de manera significativa entre 1990 y 2010, con 232.4%, debido al mejor manejo de residuos sólidos, en particular por la disposición en rellenos sanitarios, donde los procesos anaeróbicos son más eficientes que en tiraderos a cielo abierto, así como por el incremento en el tratamiento de aguas residuales del país (SEMARNAT e INECC, 2012).

1.2.4.2.3 Óxido Nitroso

En 2010, las emisiones de óxido nitroso (N_2O) fueron de 223.0 Gg, lo que representa un incremento de 23.1% con respecto a 1990. La principal contribución corresponde a los suelos agrícolas con 67.2%, seguido por transporte con 18.2%; manejo de estiércol y tratamiento con 9.3% y eliminación de aguas residuales con 2.8%. En conjunto, representan 97.5% de las emisiones de N_2O en 2010 (Figura 14) (SEMARNAT e INECC, 2012).



Fuente: SEMARNAT e INECC, 2012.

Figura 14. Emisiones por sector en Gg de N₂O (1990-2010).

En suelos agrícolas las emisiones se derivan primordialmente del manejo de excretas y el uso de fertilizantes nitrogenados. Por otra parte, el incremento en las emisiones de N₂O del transporte se atribuye principalmente al aumento del parque vehicular nacional, en el consumo de combustible y la mala combustión de los motores. El uso de convertidores catalíticos reduce las emisiones de contaminantes locales de los automotores: aproximadamente un promedio de 95%, en el caso del monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos libres, y el 75% en el caso de los óxidos de nitrógeno (NO_x) emisiones perjudiciales para la salud de la población (SEMARNAT e INECC, 2012).

1.2.4.2.4 Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruros de Azufre (SF₆)

Hidrofluorocarbonos (HFC) proceden principalmente de los equipos de refrigeración y aire acondicionado, esta familia de gases se utiliza como agentes refrigerantes y en los paneles aislantes. En 2010, las emisiones de HFC totalizaron 18,692.3 Gg de CO₂ eq., lo que representa un incremento de 2,307% con respecto a 1990. Dicho incremento es reflejo de un mayor uso de HFC en refrigeradores y aires acondicionados de industrias, viviendas y automóviles, en sustitución de los clorofluorocarbonos (CFC) controlados por el Protocolo de Montreal (1987) y cuyo uso está restringido en el mundo. De acuerdo a SEMARNAT e INECC (2012) los gases que más aportaron emisiones de HFC en 2010 son los siguientes:

- HFC-134a con 52.2%.
- HFC-23 (subproducto del HCFC-22) con 20.9%.

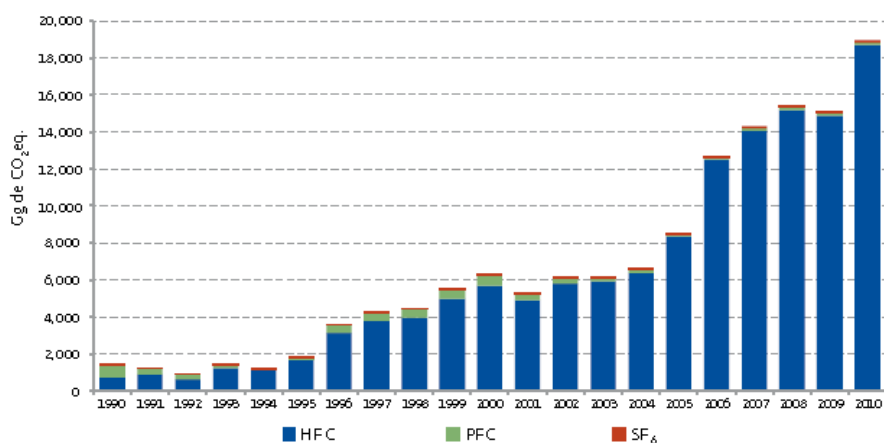
- HFC-125 con 17.6%, HFC-143a con 5.9%.
- HFC-32 con 3.2% y el restante 0.2% de HFC (43-10mee, 152a, 227ea y 245ca).

Las emisiones de HFC son potenciales, ya que estos gases están contenidos en los equipos; solo se liberan en el caso de fugas o de una mala disposición al final de su vida útil (SEMARNAT e INECC, 2012).

Con el propósito de disminuir la producción y consumo de HFC, en los rubros farmacéutico, refrigeración doméstica y aires acondicionados móviles, México, Estados Unidos y Canadá elaboraron una enmienda al Protocolo de Montreal, que busca reducir las emisiones de GEI a la atmósfera a través de la adopción de calendarios de eliminación de HFC (SEMARNAT e INECC, 2012).

Perfluorocarbonos (PFC), en las formas de CF₄ y C₂F₆, provienen de la producción de aluminio, catalogada dentro de la categoría de Procesos Industriales. Las emisiones de PFC en 2010 fueron de 128.4 Gg de CO₂ eq. Entre 1990 y 2010 se tuvo un decremento en las emisiones de 80.1%, debido a una disminución en la producción de aluminio (SEMARNAT e INECC, 2012).

Emisiones de Hexafluoruros de Azufre (SF₆) se originan como emisiones potenciales en equipos y circuitos eléctricos que contienen este gas para cumplir la función de agente dieléctrico (aislante). En el periodo 1990-2010 se estimaron las emisiones de SF₆ con base en el inventario de equipos eléctricos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) que empleaban este gas. En 2010, las emisiones fueron de 124.4 Gg de CO₂ eq., lo que representa un incremento de 319.7% con respecto a las emisiones de 1990. Estas cifras se basan en supuestos de emisiones potenciales que un equipo puede liberar año con año a lo largo de su vida útil (Figura 15) (SEMARNAT e INECC, 2012).



Fuente: SEMARNAT e INECC, 2012.

Figura 15. Emisiones de HFC, PFC y SF₆ en Gg de CO₂ eq (1990-2010).

1.2.5 Algunas consecuencias del Cambio Climático

Las principales consecuencias a nivel mundial a causa del cambio climático, identificadas en el reporte del IPCC (2014c) son:

1. Sistemas únicos y amenazados: Algunos ecosistemas y culturas ya están en riesgo a causa del cambio climático. Se prevé un aumento en las consecuencias con un calentamiento adicional de 1°C, en el número de sistemas únicos y amenazados con capacidad adaptativa limitada, en particular los sistemas asociados con el hielo marino del Ártico y los arrecifes de coral. En caso de que se produzca un calentamiento adicional de 2°C, además de las consecuencias derivadas de la magnitud del calentamiento, aumentarán las consecuencias en las especies terrestres, al ser sensibles a la tasa de calentamiento, al igual que las especies marinas por el grado de acidificación del océano, y los sistemas costeros por la elevación del nivel del mar.

2. Episodios meteorológicos extremos: Los riesgos relacionados con el cambio climático derivados de episodios extremos, como las olas de calor, las precipitaciones intensas y las inundaciones costeras, no son moderadas. Con un calentamiento adicional de 1°C los riesgos son altos, e.g., el calor extremo que aumenta progresivamente a medida que lo hace el calentamiento.

3. Distribución de impactos: Los riesgos se distribuyen de forma acrecentada entre regiones y grupos de personas, en todas partes del mundo. Los riesgos son moderados, debido a las diferencias regionales, mientras que,

los impactos son altos ante un calentamiento por encima de 2°C, en particular para la producción de cultivos, reflejado en disminuciones proyectadas en los rendimientos de cultivos y la disponibilidad del agua en las regiones.

4. Impactos totales globales: Los riesgos del impacto total a nivel global son moderados para un calentamiento adicional entre 1°C y 2°C, que se refleja en la biodiversidad de la Tierra y en la economía global.

En caso de un calentamiento alrededor de 3°C el riesgo es alto, resultando amplia la pérdida de biodiversidad, así como de sus bienes y servicios ecosistémicos.

Los daños económicos totales se aceleran con el aumento de la temperatura, sin embargo, se dispone de pocas estimaciones cuantitativas para un calentamiento adicional superior a 3°C.

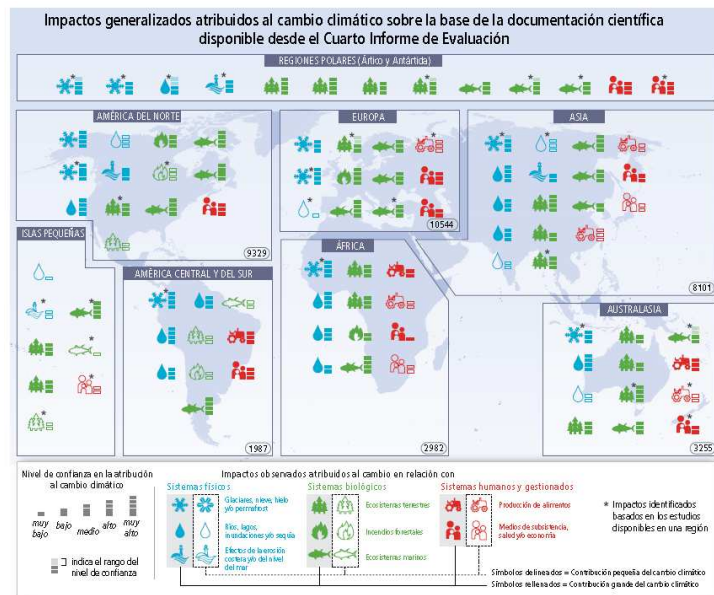
5. Episodios singulares a gran escala: Con un aumento de temperatura, algunos sistemas físicos y ecológicos pueden sufrir cambios abruptos o irreversibles

Los riesgos asociados son moderados con un calentamiento adicional de entre 0°C y 1°C; a pesar de ello, los indicadores naturales como los arrecifes de coral de aguas cálidas y los ecosistemas árticos ya están experimentando cambios irreversibles en sus regímenes.

Los riesgos aumentan de forma pronunciada con un calentamiento adicional entre 1°C y 2°C y pasan a ser altos con un aumento por encima de 3°C, como es el caso del potencial de la gran e irreversible elevación del nivel del mar, por la pérdida de los mantos de hielo.

Los riesgos por encima del umbral de calentamiento superior a ~0,5°C pero inferior a ~3,5°C, se estima la pérdida casi completa del manto de hielo de Groenlandia, que se produciría tras un milenio o más, lo que, contribuiría a una elevación del nivel medio global del mar de hasta 7 m.

Afirma IPCC (2014b) “La influencia humana en el sistema climático es clara, y las emisiones antropógenas recientes de gases de efecto invernadero son las más sobresalientes de la historia”. Los cambios climáticos recientes han tenido impactos generalizados (Figura 16) en los sistemas humanos y naturales (IPCC, 2014b).



Fuente: IPCC, 2014b.

Figura 16. Impactos en las últimas décadas atribuidos al cambio climático.

1.2.6 Consecuencias para México del Cambio Climático

Existe evidencia de que el cambio climático está afectando los sistemas biológicos e hidrológicos, los recursos hídricos y las zonas costeras de México, y acentúa la pérdida de biodiversidad, con ello, la disminución de servicios ecosistémicos, lo cual repercutirá en los sistemas productivos (Moreno y Urbina, 2008).

México se ubica en el Trópico de Cáncer, que es una zona cálida con temperaturas superiores de 18°C y constantes durante todo el año (Cabezas *et al.*, 2008), de acuerdo a IPCC (2013b) el país aumentará entre 2°C y 4°C más cálido para el periodo 2020-2080, principalmente en la parte más continental del norte de México, así como en la zona fronteriza con Estados Unidos de América, y se estima para el mismo período que el resto del país aumentará entre 2.5 y 3.5°C (IPCC, 2013b).

A causa de las precipitaciones monzónicas en México el ciclo anual de lluvia se retrasará (IPCC, 2013b), y se prevé una disminución promedio de precipitación entre 5 y 10% [entre 22 a 4.5 mm/mes menos] (INECC, 2016a), en la época invernal son muy probables las reducciones de precipitación, cercanas al 15% en regiones del centro de México, y menos del 5% en la zona del Golfo de México. En verano las lluvias podrían disminuir hasta 5% en la parte centro de México, además de que se proyectan retrasos en el inicio de la temporada de lluvia y extensión hacia los meses de otoño, para gran parte del país

(Martínez, 2011). Contrariamente en la parte norte, ocurrirá un aumento de precipitación a causa de los ciclones, así como en el invierno (IPCC, 2013b).

Existe incertidumbre en cuanto a los cambios e intensidad de ciclones, se complica estimar sus impactos para el país, y se prevé que a mayor número e intensidad de tormentas, los impactos podrían tener mayores consecuencias sociales y económicas (INECC, 2016a).

Para las próximas décadas, el aumento del grado de presión sobre el recurso hídrico por efectos de cambio climático pueden ser tan importantes, como los que resultarán del desarrollo socioeconómico (Martínez, 2011; Moreno y Urbina, 2008), la mayor parte del país se volverá más seca y las sequías más frecuentes, con el consecuente aumento de demanda de agua, particularmente en el norte del país y en zonas urbanas (INECC, 2016a). Se proyecta una reducción de 10% anual en la disponibilidad de agua bajo el escenario de cambio climático 2030 respecto al año 2000., Baja California y Sonora pasarán a una situación crítica, la zona sur de México, así como, la Península de Yucatán podrían comenzar a experimentar una presión de media a fuerte sobre dicho recurso (Martínez, 2011; Moreno y Urbina, 2008). Por el contrario, se pronostica que habrá regiones donde la precipitación podría ser más intensa y frecuente e incrementar las inundaciones; además del riesgo de deslizamientos de laderas para aproximadamente 2 millones de personas que actualmente se encuentran en situación de moderada a alta vulnerabilidad y, en suma para quienes residen en localidades menores a 5,000 habitantes ubicadas principalmente en la parte baja de las cuencas (INECC, 2016a).

En una perspectiva futurista, el aumento del nivel del mar que tiene una inercia sustancial, continúa su aumento por varios siglos más allá del 2100, incluso si las concentraciones de GEI en la atmósfera fueran hoy estabilizadas afirma IPCC, “el aumento del nivel del mar constituye una amenaza para diversas regiones del Golfo de México y del Mar Caribe, en Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz” (Moreno y Urbina, 2008); así mismo, los sectores hídrico y agrícola podrían verse afectados por efecto de la intrusión salina (INECC, 2016a).

Existe la posibilidad de que ocurran cambios profundos en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas terrestres, ante el aumento de GEI y un calentamiento global entre 2°C y 3°C (referente a los niveles de la época pre-industrial) (Moreno y Urbina, 2008), como la reducción de área cubierta por bosques de coníferas, especies de zonas áridas, semiáridas y especies forestales de zonas templadas (INECC, 2016a). En el caso de

mamíferos terrestres y voladores se proyecta al 2050 una disminución de cerca de la mitad de las especies reportadas, con una pérdida de más del 80% de su rango de distribución histórica (INECC, 2016a).

También ocurrirán cambios importantes en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas marinos y otros ecosistemas acuáticos, debido a un aumento en la temperatura que puede ocasionar un colapso demográfico en las poblaciones marinas, causando baja productividad para las pesquerías (Moreno y Urbina, 2008).

En conjunto se provocará un fenómeno de ruptura, en el que las estaciones del año se ven alteradas junto con los ciclos de las plantas y animales, así como la reducción de número de especies vegetales de valor farmacéutico o cultural. Se considera que existe la posibilidad de que, entre la tercera y quinta parte de las especies evaluadas presenten un mayor riesgo de extinción (Moreno y Urbina, 2008).

Los eventos climáticos relacionados con afectaciones a la salud de la población mexicana, están relacionados con temperaturas y condiciones de humedad extrema, que son idóneos y facilitan la presencia de patógenos, con ello brotes de enfermedades como, golpes de calor, enfermedades transmitidas por vectores, enfermedades transmitidas por agua y alimentos, entre otros (Martínez, 2011).

Se espera una disminución y pérdida de la producción de alimentos para la década de 2050, lo que se suma al problema actual y evidente de la pérdida de fertilidad y desertificación de suelos alrededor del mundo, en donde México se encuentra particularmente vulnerable, poniendo en riesgo la alimentación. Existe evidencia de que, la mayoría de los cultivos resultarán menos adecuados para la producción en el país hacia el año 2030, empeorando esta situación para finales del presente siglo (INECC, 2016a).

Tomando en cuenta la aportación de GEI que realiza México a la atmósfera y el efecto que en su conjunto se observa a nivel mundial, se requiere implementar medidas de mitigación, conservación y restauración de las áreas naturales, para poder gozar de los servicios ambientales que brindan, como la captura de carbono; logrando disminuir las aceleradas y amplificadas consecuencias en los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos.

1.3 CAPTURA DE CARBONO COMO SERVICIO AMBIENTAL



*Fotografía: José Antonio Benjamín
Ordóñez Díaz, Araceli Flores
Ramírez y Guillermo Castañeda
Suárez.*

1.3 CAPTURA DE CARBONO COMO SERVICIO AMBIENTAL

1.3.1 Breve Cronología Sobre Acuerdos y Discusiones Mundiales Ante el Cambio Climático

Debido a que el cambio climático antropogénico y sus consecuencias se han incrementado a causa del aumento de GEI y con ello diferentes impactos hacia el planeta, resulta de manera importante conocer la historia y trayectoria del descubrimiento científico como lo son los acuerdos, tratados y soluciones ante el cambio climático.

A principios del siglo XIX, cuando se sospechó por primera vez que hubo cambios naturales en el paleoclima y se identificó el efecto invernadero natural, los científicos fueron quienes llamaron la atención nacional e internacional sobre las amenazas planteadas por el efecto invernadero (UNFCCC, 2014a). Debido a ello, en la actualidad se han documentado algunos sucesos sobre el avance de temas de ambiente, desarrollo y cambio climático, en la perspectiva histórica y científica del mundo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Algunos sucesos sobre el avance de temas ambientales y cambio climático.

Año	BREVE CRONOLOGÍA SOBRE COMPROMISOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO
1790	Hacia finales del siglo XVIII, se inicia en Inglaterra una transformación de las estructuras económicas y sociales que sirven de base a lo que, a partir del siglo XIX, se llamaría Revolución Industrial. El conjunto de cambios que presenta la técnica está asociado a un proceso de crecimiento poblacional en Europa (Guzmán, 2010).
1800	Los niveles de dióxido de carbono (CO ₂) en la atmósfera son aproximadamente de 280 ppm. Para 1860 comienza como la segunda revolución industrial, caracterizada por el uso intensivo de nuevas materias primas y la aparición de sectores industriales, que desarrollan nuevos materiales mediante el uso de la electricidad y el motor de explosión, como fuentes de energía (Guzmán, 2010).
1959	Se determina que los niveles de dióxido de carbono (CO ₂) son de 315 ppm (partes por millón) (Guzmán, 2010).
1972	En Junio se celebra en Estocolmo, la primera Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente Humano, organizada por las Naciones Unidas (Guzmán, 2010). Entre los principales problemas estaban el consumo de combustibles fósiles, polución del aire y deforestación. El tema referente a la causa del cambio del clima fue mencionado, mas no se tomó la debida importancia; sin embargo, esta conferencia fue importante, marcando el inicio de las discusiones sobre problemas ambientales en escala mundial (Rügnitz, 2010).
1979	Se lleva a cabo la Conferencia Mundial sobre el Clima (CMC) (Corona y Gamboa, 2011).
1984	Se reúne por primera vez la Comisión sobre Medio Ambiente y desarrollo, presidida por Gro Harlem Brundtland (Guzmán, 2010).
1985	Se realiza el convenio de Viena, sobre Protección de la Capa de Ozono (Figueroa, 2010).
1987	Se publica Nuestro Futuro Común, un programa global orientado a garantizar el desarrollo sostenible para el año 2000 (Guzmán, 2010). Se propone el protocolo de Montreal, sobre la reducción de la Capa de Ozono y sus enmiendas posteriores (Figueroa, 2010).
1988	La organización Meteorológica Mundial y el Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas crean la comisión Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por su siglas en inglés) (Guzmán, 2010). Se tiene en consideración algunas indagaciones sobre las alteraciones en los patrones de distribución, precipitación y temperatura de algunas regiones (Rügnitz, 2010). Se consolida y se establece el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Corona y Gamboa, 2011).
1990	Se concluye el Primer Informe de Evaluación del IPCC, y en la segunda Conferencia Mundial sobre el Clima, piden un tratado global que atienda el cambio climático y se logra un convenio (Corona y Gamboa, 2011).
1992	Se tiene la Cumbre Mundial de la Tierra en Brasil; allí el presidente George H. W. Bush firma el convenio Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, el senado norteamericano aprueba por unanimidad este tratado; y para el mismo año se conocen los niveles de CO ₂ en la atmósfera alcanzando las 356 ppm (Guzmán, 2010). Se lleva a cabo la segunda conferencia mundial para discutir los problemas ambientales, nombrada ECO-92 en Rio de Janeiro, Brasil. Se celebró un debate sobre la importancia de crear y desarrollar fuentes de energías alternativas al uso de los combustibles fósiles, para evitar los cambios climáticos globales (Rügnitz, 2010). Se crea la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio del Clima (CMNUCC) ⁸ o simplemente Convención del Clima, esta convención comprometió a los países participantes (firmantes) a una reducción voluntaria de las emisiones de gases de efecto invernadero (Rügnitz, 2010).
1995	En el mes de marzo ocurrió la primera Conferencia de las Partes (COP 1) en Berlín, Alemania., con la ausencia de un compromiso específico por parte de los países participantes para tomar acciones que contribuyesen con la mitigación (reducción o remediación) del cambio del clima, como resultado de la reunión fue elaborada la declaración denominada Mandato de Berlín (Rügnitz, 2010).

⁸ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio del Clima (CMNUCC), también conocida por las siglas en inglés UNFCCC- United Framework Convention on Climate Change (Rügnitz, 2010).

	Segundo Informe de Evaluación de la Comisión Intergubernamental sobre el Cambio Climático, en el que se reconoce que la totalidad de las pruebas sugieren una influencia humana palpable sobre el clima global (Guzmán, 2010).
1997	Durante la COP 3 en la ciudad de Kioto, Japón, fue presentado y discutido el Protocolo de Kioto, en el que se determinaba que países industrializados (también llamados de Anexo I) que firmaron (ratificaron) el acuerdo para de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en cerca de 5% abajo del nivel de emisiones de 1990, y para los años 2008-2012 fue llamado el primer periodo de compromiso (Rügnitz, 2010).
2001	Durante la COP, en Marraquech se discutió por primera vez el tema de Reducción de Emisión de Deforestación (RED) (Rügnitz, 2010). IPCC publica el Tercer Informe de Evaluación, reitera "La mayor parte del calentamiento global se ha observado en los últimos años se puede atribuir a actividades humanas" (Guzmán, 2010). El presidente Bush anuncia que los Estados Unidos de Norteamérica se retira del Protocolo de Kioto (Guzmán, 2010).
2002	Se celebra en Johannesburgo la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible conocida como Río+10 (Guzmán, 2010). Los niveles de CO ₂ en la atmósfera alcanzan las 375 ppm (Guzmán, 2010).
2003	Se llevó a cabo la COP-9 en Milán, Italia, de Reducción de Emisión de la Deforestación (RED), centrada en el concepto de reducción compensada, ya que los países en desarrollo que consiguiesen reducir sus tasas nacionales de deforestación en relación a un escenario de referencia, podrían ser compensados financieramente por la comunidad internacional o comercializar créditos de carbono en los mercados internacionales (Rügnitz, 2010).
2004	Rusia ratifica el Protocolo de Kioto, el cual entra en vigor, los científicos del IPCC revelan que el límite de aumento de temperatura media global es sobre 2°C, el cual desencadenaría resultados alarmantes para el medio ambiente y los seres humanos. Para evitar esto hay que reducir al menos un 30% de las emisiones de los países industrializados para el 2020, sobre los niveles de 1990 y un 80% para el 2050 (Guzmán, 2010).
2005	En Montreal, Canadá, durante la COP 11, se presentaron formalmente documentos proponiendo, proyectos de créditos de carbono a través de RED, además las partes también acordaron crear un nuevo acuerdo para la segunda fase del Protocolo, que iniciará después 2012. Hasta noviembre 2009, 187 países habían firmado el Protocolo (Rügnitz, 2010).
2006	En la ciudad de Roma ocurrió el primer evento (workshop) de la Convención del Clima (CMNUCC) que trataba exclusivamente de Reducción de emisiones por deforestación en países en desarrollo (Rügnitz, 2010). Para el mismo año los niveles de CO ₂ en la atmósfera, alcanzan las 381 ppm (Rügnitz, 2010). En el mismo año, la COP 12 en Nairobi, Kenia, el gobierno brasilero sometió una propuesta de incentivos financieros, para que los países en desarrollo voluntariamente reduzcan sus tasas de deforestación (Rügnitz, 2010).
2007	Durante la COP 13 en Bali en la Indonesia, se aceptó discutir formalmente cómo colocar en práctica un mecanismo de compensación por la reducción de la deforestación en los países en desarrollo (Rügnitz, 2010). Se publica el cuarto Informe de evaluación de IPCC, dos mil quinientos científicos autores han pronosticado que hasta el año 2100 la temperatura global se incrementará 6.4°C y el nivel del mar se elevará en 59 centímetros; sequías, inundaciones y tempestades ocurrirán con mayor frecuencia y fuerza (Guzmán, 2010).
2008	Se realiza la COP 14 en Poznan, Polonia, tuvo como principal tema de discusión la necesidad de establecer una nueva meta de reducción para un nuevo periodo de compromiso (Rügnitz, 2010). El IPCC recomienda que esta meta de reducción sea entre 40-50% en relación a los niveles de 1990 (Rügnitz, 2010). En el mismo año se da el inicio el primer periodo de acuerdos del Protocolo de Kioto (Corona y Gamboa, 2011).
2009	Durante la COP-15 Conferencia en Copenhague, fueron presentadas dos nuevas modalidades Reducción de Emisión de la Deforestación y Degradación de los bosques (REDD) denominadas: Reducción de Emisión de la Deforestación y Degradación de los bosques más (REDD+) y Reducción de Emisión de la Deforestación y Degradación de los bosques plus (REDD++). Teniendo la finalidad de no solo conservar el carbono almacenado en biomasa de los bosques, si no, que se contabilice el incremento de carbono originado de la regeneración, fijación y almacenamiento carbono terrestre, en diversos tipos de uso de tierra (no sólo bosques), incluyendo el rol de la conservación, del manejo sustentable y del aumento de los stocks de carbono de los bosques en los países en desarrollo (Rügnitz, 2010).

Se celebra la XVI Conferencia de las Partes (COP 16), en Cancún, Quintana Roo, dio como resultado que equilibradamente se tomarán las decisiones, llamado Acuerdos de Cancún (Langner y Rosas, 2010).

2010	Se implementó la calculadora de huella de carbono, para mitigar emisiones seleccionando alguno de los proyectos del mercado voluntario forestal mexicano (Mixe, Chinanteca o de las Sierras Sur y Norte de Oaxaca). Adicional a la aprobación de tener un fondo verde (UNCCC, 2010).
------	--

En diciembre se llevó a cabo la décimo séptima Conferencia de las Partes (COP 17), en la ciudad de Durban, Sudáfrica, el principal objetivo fue salvaguardar o ampliar el protocolo de Kioto, para estabilizar las emisiones de GEI (Corona y Gamboa, 2011).

2011	El día 12 de diciembre del mismo año, Canadá sale del Protocolo de Kioto, para convertirse en el primer país que se desmarca <i>a posteriori</i> de este tratado (Whiteman, 2011). En diciembre, varios países desarrollados (Japón, Rusia y Canadá) articularon su oposición a participar en un segundo periodo de compromiso del Protocolo de Kioto. Solamente estos países representaban el 40% de las emisiones de los países del Anexo B en 2009 ⁹ (PNUMA, 2012).
------	--

2012	En Doha, Qatar se llevó a cabo la 18ª sesión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP 18), para asegurar la interrelación entre el cambio climático y las cuestiones relativas a la seguridad alimentaria (Corona y Gamboa, 2011). Término del primer periodo de compromisos del Protocolo de Kioto (Corona y Gamboa, 2011).
------	---

Para octubre el IPCC publica el Quinto Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo I (IPCC, 2013b).

2013	En el Estadio Nacional de Varsovia, Polonia, se llevó a cabo 19ª sesión de la Conferencia de las Partes del Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP 19), y la 9ª sesión de la Junta de las Partes (CMP 9) (UNEP, 2013). Se concluye la publicación del Quinto Informe de Evaluación de IPCC, de los tres Grupos de trabajo (IPCC, 2016).
------	---

2014	Se llevo a cabo la 20ª sesión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP 20), en Lima Perú y se adopta la decisión "El Llamado de Lima a la Acción Climática" (Finanzas Carbono, 2014).
------	---

2015	Del 30 de noviembre al 12 de diciembre de 2015 en París, Francia se llevo a cabo la 21ª sesión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP 21), en calidad de reunión de las Partes al Protocolo de Kioto (CMP ¹⁰), y la conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático concluyó con la adopción de un acuerdo histórico para combatir el cambio climático e impulsar medidas e inversiones para un futuro bajo en emisiones de carbono, resiliente y sostenible. El objetivo principal del acuerdo universal es mantener que el aumento de la temperatura en este siglo sea muy por debajo de los 2°C, e impulsar los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura, por debajo de 1.5°C sobre los niveles preindustriales (UNFCCC, 2015).
------	--

2016	Se llevó a cabo la 22ª sesión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP 22), en Marruecos del 7 al 18 de noviembre, los Gobiernos han fijado un corto plazo, hasta 2018 para completar las normas de aplicación del Acuerdo de París con el fin de asegurar la confianza, la cooperación y su éxito en años y décadas venideras, además de paquetes de miles de millones y billones de dólares de apoyo para tecnologías limpias, la creación de capacidad para informar planes de acción por el clima e iniciativas para impulsar la seguridad alimentaria y la seguridad de los recursos hídricos en países en desarrollo son algunos de los muchos anuncios y numerosas iniciativas lanzadas (Marrakech COP 22 CMP12, 2016).
------	--

Fuente: Compendio de diferentes autores.

⁹ Excluyendo a los Estados Unidos de Norteamérica que no ratificó el Protocolo (PNUMA, 2012).

¹⁰ CMP (Conference of the Parties serving as the Meeting of the Parts to the Kyoto Protocol) (UNFCCC, 2014b).

1.3.2 El Protocolo de Kioto como Mecanismo para la Reducción de GEI, a través del Mercado de Carbono

El Protocolo de Kioto es un tratado internacional desarrollado a partir de la Convención Marco de las Naciones Unidas, sobre el Cambio Climático adoptado en 1997 durante la Tercera Conferencia de las Partes que tuvo lugar en Kioto, Japón, estableciendo el límite de emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI), para países desarrollados y/o con economías en transición (Calvo *et al.*, 2004). Sin embargo, a causa de un complejo proceso de ratificación el Protocolo de Kioto entró en vigor en febrero del 2005, y marcó el inicio formal de una serie de acciones para la reducción de emisiones (Barros e Ipinza 2011; UNFCCC, 2014c), llevando a la creación y práctica de créditos de carbono, con ello obteniendo el mercado de carbono, por lo que los países o industrias que no consiguieran llegar a las metas de reducciones de emisiones o, que quisieran reducir sus emisiones sobre la meta establecida podían ser compradores de créditos de carbono, por otro lado aquellas industrias o países que consigan disminuir sus emisiones abajo de las cuotas determinadas, podían vender el excedente de la reducción de sus emisiones en créditos de carbono, ya sea en el mercado nacional o internacional (Forest Trends, 2010). Para que se lograra llegar a la meta de disminución de GEI, el Protocolo de Kioto designó las responsabilidades de los países firmantes conforme a su nivel de desarrollo económico y compromiso ante el cambio climático, obteniendo tres divisiones, de acuerdo a Gay (2000); Ordóñez (2008b):

- **Anexo I.** Se integraron 39 países desarrollados o con economías de mercado en transición, siendo los de mayor responsabilidad y capacidad de acción ante el cambio climático, ya que, para el año de 1990 produjeron cerca del 55% de las emisiones totales.
- **Anexo II.** Subconjunto de 25 países desarrollados en los que se proporcionó ayuda económica y tecnológica a los países pertenecientes a la categoría del no Anexo, a fin de enfrentar el cambio climático.
- **No Anexo.** Se conformó por países con economías en desarrollo, entre ellos México.

Se ofrecieron medios adicionales, a través de mecanismos basados en el mercado de carbono, de acuerdo a UNFCCC (2014a):

I. Comercio de los derechos de emisión (mercado del carbono):

Método utilizado para cumplir metas, limitar o reducir y llegar a los niveles de emisiones permitidos o cantidades atribuidas durante el periodo de compromiso 2008-12, a través del comercio de los derechos de emisión, definido en el artículo 17 del Protocolo de Kioto, que permite que los países que tengan unidades de emisiones de sobra (emisiones que se tenían permitidas pero a las que no llegaron), vendan ese exceso de capacidad a países que sobrepasan sus metas, puesto que el dióxido de carbono es el principal gas de efecto invernadero, se habla simplemente del comercio de carbono, y es sometido a transacciones comerciales como cualquier otro producto básico, lo que se conoce como mercado de carbono.

II. Mecanismo(s) para un Desarrollo Limpio (MDL) mitigación

Fue definido el término de Mecanismo(s) de Desarrollo Limpio (MDL) en el artículo 12 del Protocolo de Kioto, y los países que asumieron el compromiso de reducir o limitar las emisiones llevaron a cabo proyectos de reducción de GEI, por medio de países en desarrollo y se otorgaron créditos por reducciones certificadas de las emisiones (RCE), cada uno de los cuales equivale a una tonelada de CO₂, que contó para el cumplimiento de las metas.

III. Aplicación Conjunta

El mecanismo de aplicación conjunta definido en el artículo No.6 del Protocolo de Kioto, permitió que un país comprometido a reducir o limitar sus emisiones ganara unidades de reducción de las emisiones generadas en un proyecto de reducción o eliminación de las emisiones, y cada una de ellas equivalente a una tonelada de CO₂, que contó para el logro de su meta de acuerdo al protocolo de Kioto. Dicha aplicación conjunta ofreció a las Partes un medio flexible y rentable de cumplir algunos de sus compromisos y al mismo tiempo que, donde se lleva a cabo el proyecto se beneficiara de la inversión extranjera y la transferencia de tecnología.

Fondo de adaptación

Para financiar proyectos y programas concretos de adaptación en países en desarrollo que son Partes en el Protocolo de Kioto, se estableció un fondo de adaptación. Dicho fondo se financiaría con una parte de los ingresos resultantes de actividades de proyectos del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), con el 2% de los Certificados de Reducción de Emisiones (CER), emitidos de los proyectos del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), además de otras fuentes de financiamiento: el Fondo para los Países Menos Desarrollados (LDCF), el Fondo Especial para el Cambio Climático (SCCF)

(ambos de la CMNUCC); el Fondo Estratégico Prioritario para la Adaptación (SPA) del Fondo Global para el Medio Ambiente (GEF), y los programas de cooperación internacional de diversos países (Gobierno Federal, 2010).

1.3.3 Mercados de Carbono

Para realizar la mitigación de GEI, se implementaron dos tipos de mercados de carbono: los de cumplimiento regulado y los voluntarios. El mercado regulado es utilizado por empresas y gobiernos que, por ley, tienen que rendir cuentas de sus emisiones de GEI y estarían regulados por regímenes obligatorios de reducción de carbono, ya sean nacionales, regionales o internacionales. Por otro lado, el comercio del mercado voluntario es por créditos que se producen sobre una base facultativa (FAO, 2010).

1.3.3.1 Mercado Regulado

En el mercado regulado de carbono, se emiten bonos utilizables para dar cumplimiento a los compromisos de reducción de emisiones que resultan de los acuerdos jurídicamente vinculantes, agregando los Fondos de Carbono del Banco Mundial y el Sistema de Transacción de Emisiones de la Unión Europea (INFOR-JICA, 2009 en Barros e Ipinza 2011).

El Mercado regulado abarca un mercado internacional sobre los países firmantes del Protocolo de Kioto (Anexo I), con excepción de USA y Canadá (Lucatello, 2012), que a su vez es dividido en mercado de carbono europeo (Finanzas Carbono, 2017) a través del Sistema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea (EU ETS) (Climate Action Reserve, 2015).y mercado americano (Barros e Ipinza, 2011) por medio del Programa de Límites Máximos y Comercio (*cap-and-trade*) (Climate Action Reserve, 2015) de California, utilizado por empresas y gobiernos que, por ley tienen que rendir cuentas de sus emisiones de GEI. Regulado por regímenes obligatorios de reducción de carbono, ya sean nacionales, regionales o internacionales de acuerdo a FAO (2010), asociado al cumplimiento del protocolo de Kioto a través de los mecanismos de flexibilidad: mecanismo de desarrollo limpio (MDL), la implementación conjunta y el comercio de derecho de Emisiones (Vargas *et al.*, 2009), utilizados para que se alcanzará la meta de reducción de gases de efecto invernadero en cerca de 5% abajo de los niveles de 1990 en el periodo de 2008-2012, para países pertenecientes al Anexo I (Forest Trends, 2010).

Sin embargo, el mercado de carbono europeo tuvo una baja producción, como consecuencia de lo cual, hubo un desajuste entre oferta y demanda, que condujo a una caída de precios que dejó a este mecanismo sin poder para empujar el esfuerzo de mejora tecnológica con que se contaba (Acciona, 2017).

De acuerdo a la Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, la única modalidad en la que México podría participar en el mercado regulado de carbono, es como país no perteneciente al Anexo I, y es nombrado Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), esquema ideado para que los países del Anexo I puedan acreditar hasta el 1% de sus emisiones de GEI, mediante la adquisición de créditos por reducción de emisiones en proyectos de reforestación que se realicen en países no incluidos en el dicho Anexo. Se espera que su resultado sea la captura neta y almacenamiento de carbono atmosférico a corto, mediano y largo plazo, con ello contribuir a la mitigación de GEI así como el cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de cambio climático, aunado a la inversión y apoyo hacia el país en desarrollo y avanzando hacia el desarrollo sustentable (Yáñez, 2004).

En el tipo de proyectos de sumideros de carbono que pueden ser seleccionados dentro del MDL se incluyeron únicamente las prácticas dirigidas a capturar carbono como la reforestación, dejando fuera las actividades encaminadas a evitar emisiones, como la conservación y el manejo sustentable de los bosques (Yáñez, 2004). Otro ejemplo es por medio de un país industrializado que implementa un proyecto de reducción de emisiones a través de la eficiencia energética o de energía renovable; así, la retención y recorte de GEI generan créditos de carbono denominados Reducción Certificada de las Emisiones (RCE) y pertenecen al país industrializado que serán utilizados para compensar parte de sus emisiones internas de GEI y cumplir sus objetivos de emisión, lo que contribuye a ralentizar el calentamiento global (FAO, 2010).

1.3.3.2 Mercado Voluntario

El Mercado Voluntario se desarrolla de manera nacional (México CO₂, 2016) como un comercio de créditos que se produce sobre una base facultativa (FAO, 2010), que además del cumplimiento del Protocolo de Kioto se da una compensación de manera voluntaria, es decir transacciones de crédito que no son requeridos por ninguna relación nacional o internacional, se realiza por medio de certificados de carbono (Rügnitz, 2010), es así, que los créditos de Reducción Verificada de las Emisiones de carbono (VER, por

sus siglas en inglés) son adquiridos principalmente por el sector privado y algunas de las razones de acuerdo a FAO (2010) son:

- * La Responsabilidad Social Corporativa (RSC)
- * Relaciones públicas
- * Certificación, la reputación y los beneficios ambientales y sociales

Dicho mercado se conforma por particulares, organizaciones o empresas que sin obligación se comprometen a tener una compensación ambiental por el efecto de sus emisiones o a reducir la emisión de gases a través de la modificación de sus actividades productivas (Vargas *et al.*, 2009).

El mercado voluntario a nivel nacional se basa en una compensación más justa y acorde a los servicios ambientales (captura de carbono) (Santiago y Rodríguez, 2017) que proporciona el medio y del cual dependen los propietarios. Desde 2013, en México existe un impuesto al carbono en los combustibles fósiles, si bien algunos de ellos (como el gas natural y el carbón vegetal) están exentos del mismo, el monto del impuesto a pagar está relacionado con la intensidad de emisiones del combustible en cuestión, relativa a la del gas natural, el precio implícito de la tonelada de CO₂ para la mayoría de los combustibles incluidos varía entre MXN 50 y MXN 40 (USD 3–USD 2.5), las entidades económicas que deben pagar directamente el impuesto se ubica en el pináculo de la cadena de suministro, es decir en los importadores y procesadores de combustible (Climate Action Reserve, 2015).

1.3.4 Valoración Económica del Servicio Ambiental Captura de Carbono

La captura de carbono es un servicio ambiental relacionado con las funciones de regulación ambiental (Maass, 2009), ya que regula la calidad del aire y de los gases presentes, la composición química de la atmósfera; captación de carbono y protección de la radiación UV (FAO y OAPN, 2009), y de acuerdo al cumplimiento del protocolo de Kioto, existen dos tipos de mercados de carbono: Regulado y Voluntario (FAO, 2010), Es así que los poseedores de las tierras son retribuidos por los usuarios de los servicios ambientales, a través de pago por Servicio Ambiental (SA) como un mecanismo que ocurre como una transacción, mediante la cual puede ser directamente, con el desarrollo de un mercado donde los usuarios explícitamente aportan a la conservación y mejoramiento del servicio, o mediante formas indirectas, normalmente mediadas aplicadas por el Estado a través de impuestos o subsidios (Burstein *et al.*, 2002).

De acuerdo a Rüginitz (2010), existen dos tipos de proyectos de carbono forestal:

(1) Proyectos de secuestro de carbono, relacionados a la captación y almacenamiento de carbono en bosques, por medio de reforestación (considerado el marco de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), en mercado regulado.

(2) Proyectos de conservación de los bosques existentes que visan a la Reducción de Emisión de la Deforestación y Degradación de los bosques (REDD), en mercado voluntario.

Es así que la conservación y recuperación de los bosques de los servicios ambientales que ellos generan, es un beneficio para las poblaciones que de ellos viven, y para todo el planeta, por lo tanto, es propio que estas poblaciones sean remuneradas por este beneficio global, dependiendo del mercado y de los tipos de créditos, los precios pueden variar, debido a que una tonelada de carbono puede costar entre USD 3 hasta USD 2,042 (Rüginitz, 2010), dicha acción conocida como Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA).

1.3.4.1 Pago por Servicio Ambiental de la Captura de Carbono en México

El Pago por Servicios Ambientales (PSA) en México fue diseñado para proveer incentivos económicos a los dueños de terrenos forestales (ejidos, comunidades y pequeños propietarios), para apoyar las prácticas de conservación y evitar el cambio de uso del suelo (deforestación) de los bosques. CONAFOR a través del programa ProÁrbol, siendo el sector forestal más importante del país, otorga incentivos a propietarios de los terrenos forestales y así implementar conceptos de apoyo, ejemplo de ello es el Pago por Servicios Ambientales del Bosque. En el **2004** se crea el PSA-CABSA (Programa para el Desarrollo de los Mercados de Servicios Ambientales de Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad y para Fomentar el Establecimiento y Mejoramiento de los Sistemas Agroforestales), y desde **2006**, el programa PSA recibe asistencia técnica y financiera del Banco Mundial y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF¹¹) para incrementar su eficiencia con la implementación del proyecto de servicios ambientales del bosque (PSAB) (Gobierno Federal, 2009).

Hasta julio de **2015**, no existía un mercado de cumplimiento regulado de carbono, sin embargo, diversas disposiciones del marco legal mexicano sí promueven un mercado voluntario, tanto en la LGCC (Ley General de Cambio Climático) como en la LGDFS (Ley

¹¹ GEF= por sus siglas en inglés Global Environment Facility (Gobierno Federal, 2009).

General de Desarrollo Forestal Sustentable) y el borrador para consulta de la Estrategia Nacional que busca Reducir las Emisiones derivadas de la Deforestación y Degradación forestal (ENAREDD+), en donde se reconoce el mercado voluntario como una de las dos líneas estratégicas para la implementación de reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación forestal; además de la conservación, el manejo sostenible y el mejoramiento del stock de carbono (REDD+) (Carrillo y Velasco, 2016).

Por otro lado, el Fondo Mexicano de Carbono (Fome-car) es una opción para financiar la comercialización de los bonos de carbono en el mercado de carbono, con recursos privados y públicos, así mismo la CONAFOR promueve esquemas de pago por captura de carbono para la reforestación de áreas (Vargas *et al.*, 2009).

Los créditos de carbono en el mercado voluntario se denominan Reducción Verificada de las Emisiones (VER, siglas en inglés). El sector privado puede comprar los créditos de carbono directamente de los proyectos de las empresas o de los fondos de carbono (FAO, 2010).

1.3.5 Servicios Ambientales

Es así que el concepto de Pago por Servicios Ambientales (PSA) en las Áreas Protegidas (AP), surge como una herramienta para la toma de decisiones adecuadas, ya que adicional del valor que poseen y del bienestar que brindan a los individuos y a la sociedad, se constituye un incentivo a través de la conservación, con ello logrando financiar las actividades de control, vigilancia y manejo para quienes deciden sobre los usos del ecosistema (FAO y OAPN, 2009).

Los servicios ambientales han recibido distintos nombres en la literatura: “servicios públicos del ecosistema global”, “servicios de la naturaleza” o “servicios ecosistémicos”, se alude las condiciones y procesos a través de los cuales, los ecosistemas naturales y las especies que los conforman permiten soportar y sustentar la vida humana (Daily, 1997 en Maass, 2009), se ha demostrado que los bosques y sistemas productivos ambientalmente sostenibles (con presencia de árboles) generan servicios ambientales, los cuales son los beneficios o servicios prestados por los bosques y sistemas productivos al hombre, como por ejemplo, proteger la tierra de la erosión, mantener las lluvias, regular el clima local, regional y del planeta (Rügnitz, 2010).

De acuerdo con Torres (2001) en Maass (2009), se trata de “...condiciones y procesos naturales que la sociedad puede utilizar y que ofrecen las áreas naturales por su simple

existencia". Los servicios ambientales son la traducción operativa de las funciones ambientales que constituyen "...la capacidad de los procesos y componentes naturales de proveer bienes y servicios que satisfagan las necesidades humanas (directa o indirectamente)", así Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EEM) (2005), relaciona las funciones ecológicas, los procesos de los ecosistemas, los servicios ecosistémicos y la producción de bienes y servicios, clasificando en cuatro categorías de "servicios" a los bienes y servicios ecosistémicos (Figuroa *et al.*, 2007 en FAO y OPAN, 2009).

1. **Provisión:** Bienes producidos por los ecosistemas como alimentos, agua, combustibles, fibras, recursos genéticos, medicinas naturales.
2. **Regulación:** Servicios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos, como la calidad del aire, regulación de clima, regulación de agua, purificación de agua, control de erosión, regulación de enfermedades humanas, control biológico, mitigación de riesgos.
3. **Cultural:** Beneficios no materiales que enriquecen la calidad de vida, tales como la diversidad cultural, los valores religiosos y espirituales, conocimiento tradicional y formal, inspiración, valores estéticos, relaciones sociales, sentido de lugar, valores de patrimonio cultural, recreación y ecoturismo.
4. **Soporte:** Servicios necesarios para producir todos los otros servicios, incluida la producción primaria, la formación del suelo, la producción de oxígeno, retención de suelos, polinización, provisión de hábitat, reciclaje de nutrientes, etcétera.

La captura de carbono es un servicio ambiental relacionado con las funciones de regulación ambiental (Maass, 2009), ya que regula la calidad del aire y de los gases presentes, la composición química de la atmósfera; captación de carbono y protección de la radiación UV (FAO y OAPN, 2009).

1.3.6 Captura de Carbono como Servicio Ambiental

1.3.6.1 Carbono

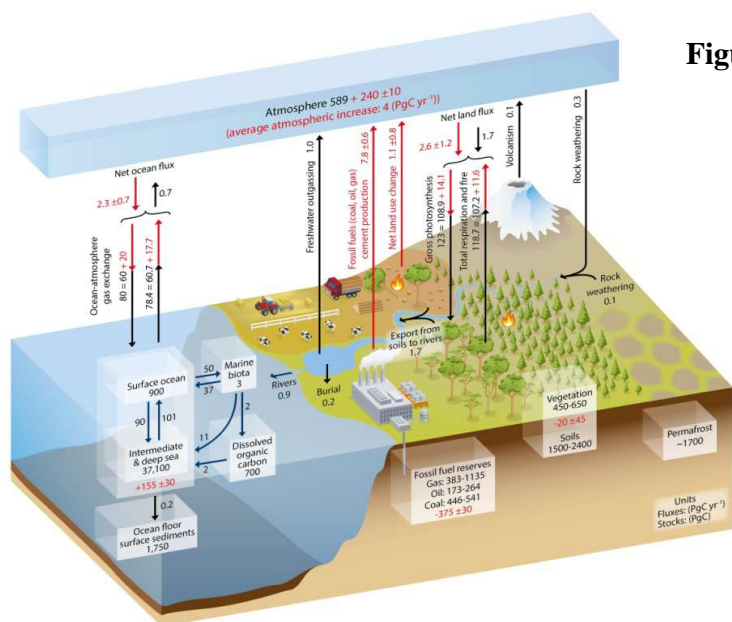
El carbono (C) es un elemento muy abundante que se encuentra en la naturaleza, como en el agua en forma de compuestos carbónicos disueltos (carbonatos), en el aire como dióxido de carbono o anhídrido carbónico, en el humus formando parte del horizonte A del suelo. Además, todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, que se obtienen como resultado de procesos metabólicos realizados durante su

crecimiento y desarrollo, los cuales son liberados cuando éstos mueren. Aproximadamente el 50% del peso seco de cualquier organismo, se constituye éste elemento, por lo que es uno de los más importantes de la vida (Smith *et al.*, 1993b en Ordóñez, 1999).

1.3.6.2 Ciclo del Carbono

El carbono (C) es un elemento que forma parte de un vasto ciclo planetario en el que, circula entre cuatro reservorios activos: la atmósfera, los océanos, la biósfera y la edafósfera (Figura 17) en los que experimenta diversas transformaciones químicas (Lebot, 1999), siendo uno de los ciclos biogeoquímicos más importantes, y a su vez es dividido en dos ciclos: geológico y biológico. 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 en Ordóñez, 2008b).

Sin embargo, el ciclo del carbono ha tenido perturbaciones con la influencia antropogénica, debido a aumentos en la concentración de bióxido de carbono a causa de diferentes actividades como: aumento en la emisión de combustibles fósiles, cambio de uso de suelo, pérdida de la biodiversidad, invasiones biológicas, entre otras causas y con ello causando un desbalance global en el ciclo del carbono (Jaramillo, 2004).



Fuente: IPCC, 2013c.

Figura 17. Esquema simplificado del ciclo global del carbono.

Los números representan la masa del yacimiento, también llamada 'stock de carbono' en PgC (1 PgC= 10¹⁵ gC) y el intercambio anual de los flujos de carbono (en PgC año⁻¹). Los números y las flechas en negro indican la masa del reservorio y los flujos de intercambio estimados para el periodo antes de la era industrial, alrededor de 1750. Flechas en rojo y números indican flujos anuales "antropogénicos" promediados durante el periodo 2000-2009, estos flujos son una perturbación del ciclo del carbono durante la Era post-Industrial 1750 (flechas rojas) son: Emisiones de combustibles fósiles y cemento de CO₂, cambio de uso del suelo y aumento atmosférico medio de CO₂. Los números rojos en los embalses indican cambios acumulativos del carbono antropogénico durante el Periodo Industrial 1750-2011.

1.3.6.2.1 Ciclo del Carbono Geológico

En el ciclo del carbono geológico, el carbonato-silicato operan como reguladores de la concentración de CO₂, ya que dicho compuesto atmosférico se disuelve en el agua de lluvia y forma ácido carbónico que reacciona con los minerales expuestos sobre la superficie terrestre, generando intemperismo de la roca. Los ríos acarrean los productos disueltos al océano, ya en él se forma el carbonato de calcio que se deposita en los sedimentos marinos, y por subducción ingresa a la corteza baja de la tierra logrando la reincorporación de los elementos a los minerales primarios de las rocas, y el carbono regresa a la atmósfera como CO₂ por las emisiones volcánicas e hidrotermales. Este ciclo ha ayudado a mantener la concentración de CO₂ atmosférico por debajo del 1% durante los últimos 100 millones de años; sin embargo, los flujos de carbono anuales son relativamente pequeños (Jaramillo, 2004). A esto habría de agregarse el hecho de que, cuando los organismos vegetales son comprimidos por deposición y no son atacados por las bacterias suceden una serie de cambios químicos para formar turba, luego carbono pardo o lignita y finalmente carbono, así los cuerpos de algunos organismos marinos pueden tener cambios semejantes y formar a largo plazo petróleo (Ordóñez, 1999).

1.3.6.2.2 Ciclo del Carbono Biológico

El dióxido de carbono comienza con la fijación del CO₂ atmosférico a través de organismos fotosintetizadores, en este proceso el dióxido de carbono y el agua, reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno, ocurrido en forma simultánea y pasan a la atmósfera (Ordóñez, 2008b), e inicia con el proceso de la fotosíntesis y la respiración, en el que las plantas remueven y regresan CO₂ y O¹² a la atmósfera, siendo el CO₂ constantemente reabasteciendo (Chapin *et al.*, 2002 en Aviña, 2007), y a través de la captación de energía solar por organismos fotosintéticos y su conversión de energía química hacia compuestos orgánicos reducidos, es la fuente fundamental de casi toda energía biológica, es por ello que los organismos fotosintéticos y los heterótrofos viven en un estado estacionario equilibrado con la biósfera (Nelson y Cox, 2005).

¹² Durante la **fotosíntesis**, a partir del dióxido de carbono y el agua, y usando energía, produce sustancia orgánica y oxígeno - *dióxido de carbono + agua + energía = sustancia orgánica y oxígeno*. Inversamente, la **respiración** usa la sustancia orgánica y el oxígeno para producir dióxido de carbono, agua y energía - *sustancia orgánica + oxígeno = dióxido de carbono + agua + energía* (FAO, 1996).

Cuando los organismos fotosintéticos como las plantas vasculares adquieren dióxido de carbono atmosférico (CO₂) (Jaramillo, 2004), agua (H₂O) y atrapan la energía solar (Nelson y Cox, 2005) por difusión a través de pequeños poros de las hojas conocidos como estomas, son transportados a sitios donde se lleva a cabo la fotosíntesis (Jaramillo, 2004), formando Adenosina trifosfato (ATP) y Nicotiamida Adenina Dinucleótido Fosfato (NADPH), que utilizan como fuentes de energía para fabricar glúcidos y otros componentes orgánicos, de forma simultánea desprenden O₂ a la atmósfera y los heterótrofos aeróbicos (como nosotros y las plantas en periodos oscuros) utilizan el O₂ para degradar los productos orgánicos ricos en energía de la fotosíntesis a CO₂ y H₂O generando ATP; el CO₂ vuelve a la atmósfera para ser utilizado de nuevo por los organismos fotosintéticos (Nelson y Cox, 2005), con ello, la cantidad que se fija se convierte en carbohidratos utilizados durante la fotosíntesis este proceso se le conoce como Producción Primaria Bruta (PPB), se ha estimado globalmente en 120 PgC/año (1 Pg [Petagramo]= 10¹⁵), mientras la mitad (60 PgC/año) es incorporada en los tejidos vegetales, como hojas, raíces y tejido leñoso, y así otra mitad regresa a la atmósfera como CO₂ debido a la respiración autotrófica (respiración de los tejidos vegetales), teniendo el crecimiento anual de las plantas, resultado de la diferencia entre el carbono fijado y el respirado conocido como Producción Primaria Neta (PPN); en el nivel global se ha estimado en 60 PgC/año (Ordóñez, 2008b).

Eventualmente en el transcurso de pocos a muchos años, casi todo el C fijado por vía de la PPN regresa a la atmósfera por medio de dos procesos: la respiración heterótrofa que incluye a los descomponedores de la materia orgánica (bacterias y hongos que se alimentan de tejidos muertos y de exudados), a los herbívoros y a los animales, que también liberan CO₂ en su respiración, así como a la combustión en fuegos naturales o antropogénicos (Jaramillo, 2004).

El ciclo del carbono es un proceso complejo y no lineal, es decir, muchas de las reacciones por las que el carbono se intercambia suceden al mismo tiempo (Bioenciclopedia, 2016); otro camino a seguir es por medio del océano, que contiene la mayor cantidad de carbono disuelto (Lebot, 1999), cerca de 50 veces más carbono en comparación con la cobertura vegetal superficial y se almacena principalmente como carbono inorgánico (Falkowski *et al.*, 2000 en Aviña, 2007) estimado en 38,500 GtC (Ordóñez, 1999). Anualmente se intercambia alrededor de 90 GtC año⁻¹ entre la atmósfera

y los océanos; a pesar de ello la asimilación de dióxido de carbono está limitada por: la solubilidad en el agua de mar, el tiempo en que se mezclan las aguas superficiales y profundas, la cantidad de cationes disponibles (entre otros factores), presentando así un retraso en la absorción realizada por la vegetación marina, en comparación con la vegetación terrestre (Castillo y Castellví, 2001; Falkowski *et al.*, 2000 en Aviña, 2007).

El ciclo del carbono es uno de los ciclos biogeoquímicos más complejos y es crucial para el equilibrio de la Tierra, al ser el carbono el principal componente de la materia de los seres vivos. Asimismo, el dióxido de carbono influye en el clima del planeta, ya que atrapa parte de la radiación del Sol y así el calor de la Tierra se mantiene constante e idóneo para la supervivencia; sin embargo, en las últimas décadas, los niveles de dióxido de carbono han aumentado bastante, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles, lo que ha contribuido al fenómeno conocido como calentamiento global, y subsecuentemente, al cambio climático (BioEnciclopedia, 2016).

1.3.6.3 Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales

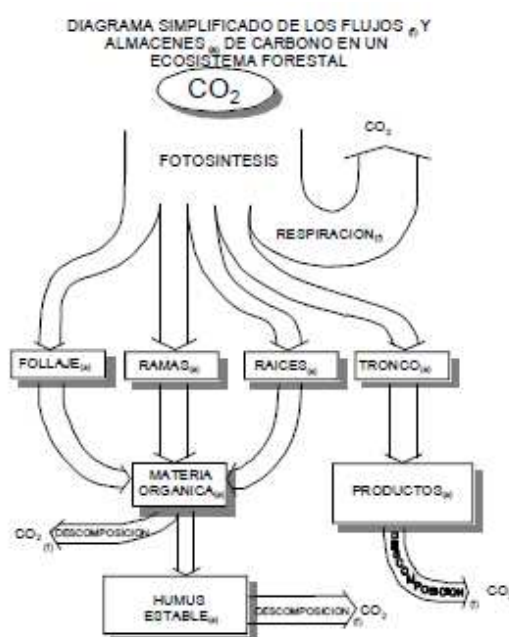
Una forma natural de mitigar el Cambio Climático Global, es con la presencia de cobertura vegetal; debido a que actúa como reservorio o almacén de carbono. Esta función natural es denominada Captura de carbono y se define como la capacidad de almacenamiento de CO₂ en los ecosistemas forestales (Fragoso, 2003).

Una vez que el dióxido de carbono (CO₂) atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, participa en la composición de materias primas como glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse desde follaje, tronco y copa, la cual necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas, lo que da lugar a una competencia entre las copas de los árboles por la energía solar y favorece, a su vez, la formación de un dosel cerrado. Los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo, misma que al degradarse se incorpora paulatinamente y da origen al humus estable que constituye el 95% del carbón orgánico del suelo (Ordóñez, 1998; 1999; 2008b).

Simultáneamente, al ir incrementando su diámetro y altura, los troncos alcanzan un tamaño tal que, pueden ser aprovechados con fines comerciales. De este aprovechamiento se extraen productos como: tablas, tablones y polines, que darán origen

a subproductos elaborados como: muebles y casas, estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado, después del cual se degradan aportando carbono al suelo y CO_2 resultado de su descomposición a la atmósfera (Ordóñez, 1998; 1999; 2008a).

Así, durante el tiempo que el CO_2 se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmósfera, se considera almacenado o retenido (Figura 18); en el momento de su liberación (ya sea por descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de biomasa), el dióxido de carbono (CO_2) fluye para regresar al ciclo del carbono (Ordóñez, 1999; Zamora, 2003).



Fuente: Ordóñez, 1999.

Figura 18. Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal.

El secuestro de CO_2 , está presente en diferentes almacenes obteniendo así la captura unitaria, de acuerdo a Ordóñez (1999) e incluye:

C_v = Carbono contenido en la vegetación, que es la suma del contenido en la biomasa aérea (tronco, hojas, ramas y follaje) y biomasa de las raíces.

C_d = Carbono contenido en la materia orgánica en descomposición, es originada cuando las estructuras vegetales como las hojas, ramas o troncos son depositados en el suelo.

Cs= Carbono contenido en los suelos. El carbono es contenido en las capas orgánicas del horizonte A que conforman el suelo forestal, se origina por el establecimiento de los organismos, que con el tiempo forma capas de deposición de materiales, al irse acumulando éstas y compactando almacenan una cierta cantidad de carbono, misma que aumentará por la continuidad de un proceso de formación del suelo.

Cp= Carbono contenido en productos forestales, que almacenan el carbono todo el tiempo de vida del producto y cuando este termina, el carbono se incorpora al ciclo dependiendo del proceso de degradación.

Por todo lo anterior, resulta importante conocer el contenido de carbono almacenado en biomasa aérea, ya que a partir de ello y de los incrementos se realiza la estimación de CO₂ contenido en un sistema forestal, es una alternativa para un para un manejo de los recursos naturales encaminado al desarrollo sustentable (Zamora, 2003).

1.3.6.4 La Cobertura Vegetal como un Almacén de Carbono

El CMNUCC (1992) (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) define a un sumidero o almacén como: “Proceso actividad o mecanismo que elimina o remueve un gas, aerosol o precursor de GEI de la atmósfera” (López, 2009).

En los ecosistemas forestales los principales almacenes de carbono (C) son: el suelo, la vegetación y el mantillo, encargados de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. De acuerdo a Apps *et al.* (1993); Brown *et al.* (1993); Dixon *et al.* (1994) en Ordóñez (2008b) los bosques del mundo (templados y tropicales) capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono, entre la atmósfera y el suelo, lo que se logra a través de sus procesos fisiológicos tales como la fotosíntesis, (absorben 110 Gt año⁻¹), mientras que mediante la respiración emiten 55 Gt año⁻¹ y por medio de la descomposición¹³ emiten 54 a 55 Gt año⁻¹; el suelo, el detritus y la turba almacenan 172 GtC aproximadamente (Ordóñez, 1999). Sin embargo, el ciclo puede hacerse más lento o bloquearse, si el carbono se acumula bajo las formas sedimentarias en forma de carbón, petróleo u otros hidrocarburos fósiles (Seoáñez, 2000); y aunado a ello, la intervención del hombre con

¹³ La descomposición y la respiración son los dos emisores naturales del bosque. Sus emisiones suman un total aproximado de 110 Gt año⁻¹, por lo que en ausencia de la deforestación hay un balance entre el carbono emitido y el capturado (Ordóñez, 1999).

actividades como la deforestación, disminuye la capacidad de absorción de CO₂ por la escasa cobertura vegetal (Castillo y Castellví, 2001), modificando así, la dinámica del ciclo natural provocando un aumento en la cantidad de carbono atmosférico, de aproximadamente 3 GtC año⁻¹ (Ordóñez, 1999).

Debido al problema ambiental actual que enfrenta el planeta Tierra y la vida inmersa en ella, a causa del cambio antropogénico y su aumento de temperatura, se hace necesaria la toma de acciones para la reducción de emisiones de GEI contaminantes hacia la atmósfera, por lo que se propone como una opción a seguir, llevar a cabo la mitigación del gas más abundante (CO₂), a través de la captura y almacén de carbono. Esto se logra mediante la conservación de los ecosistemas, que alberga una gran cantidad de biota, entre ella la cobertura vegetal, como son los bosques y las selvas, de los que se obtiene y se goza de sus servicios ambientales, además de que minimizan la fragmentación ecológica para lograr recuperar ciclos propios e interacciones. Se sugiere que sea una actividad remunerada por medio del pago por servicios ambientales a través del mercado voluntario de carbono y la compra/venta de sus bonos, en los que participan organizaciones particulares y no gubernamentales, como es el caso de Servicios Ambientales y Cambio Climático., Asociación Civil (SACC. A.C.). Es por ello que es de suma importancia obtener financiamiento para realizar estudios de estimación, monitoreo, corroboración y divulgación de la ciencia, y poder así llevar a cabo dichos estudios, para la obtención de datos de una estimación adecuada de la captura de carbono.

CAPÍTULO II OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Estimar el contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea en la Reserva de la Biósfera del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México.

2.2 Objetivos Particulares

1. Clasificar la cobertura vegetal y uso de suelo.
2. Estimar la superficie y porcentaje que ocupan las diferentes coberturas vegetales y uso de suelo (CVyUS).
3. Realizar una comparación de datos obtenidos de la captura potencial de dióxido de carbono (CO₂) por tipo de cobertura vegetal.
4. Realizar una valoración económica del servicio ambiental captura de carbono para el área de estudio.

CAPÍTULO III ÁREA DE ESTUDIO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



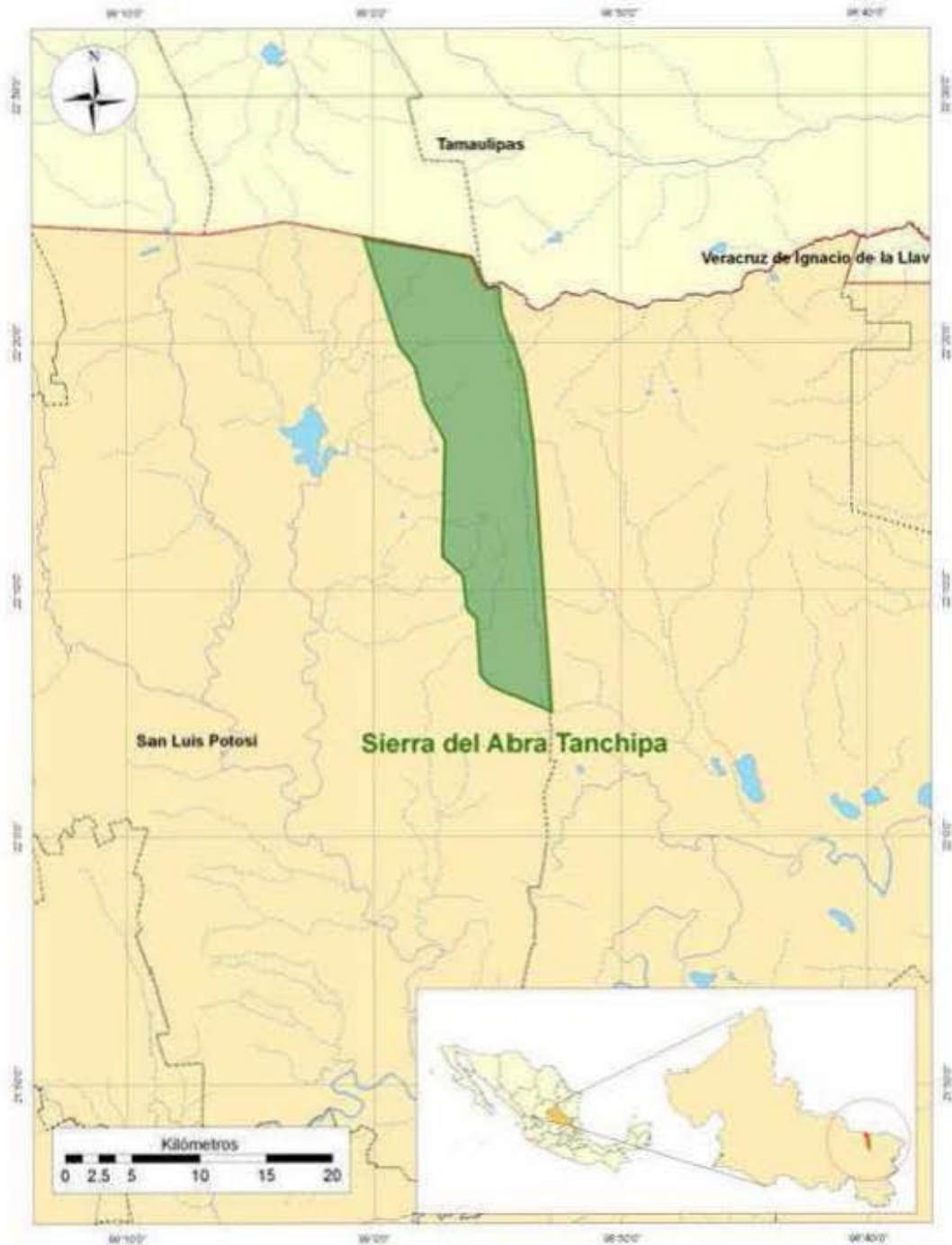
*Fotografía: José Antonio Benjamín
Ordóñez Díaz, Araceli Flores
Ramírez y Guillermo Castañeda
Suárez.*

3.1 Descripción del Área de Estudio

La Reserva de la Biósfera, Sierra del Abra Tanchipa (RBAT), San Luis Potosí, México, fue decretada como tal el 6 de junio de 1994, por el Presidente Carlos Salinas de Gortari (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995; SEMARNAT, 2003), a través de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) con fundamento en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) de 1988 (Vargas, 2010), en la que se constituye con asentamientos humanos de ciudades y pueblos dentro del área protegida (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995; SEMARNAT, 2003).

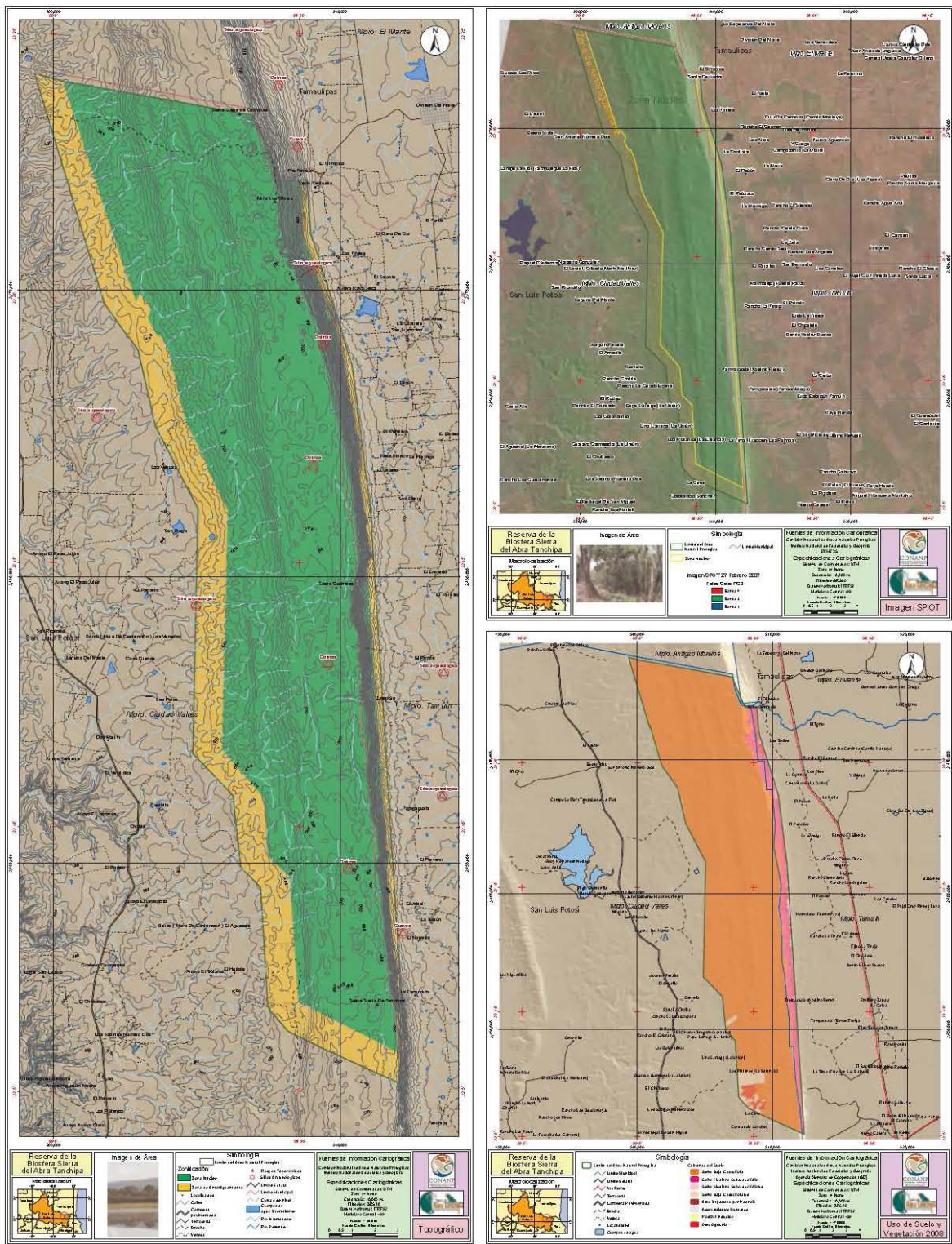
3.2 Localización

La sierra del Abra Tanchipa es considerada como parte de la Sierra Madre Oriental. Tiene una longitud aproximada de 30 km y un ancho de entre 7 y 10 km. Se localiza al noreste del estado, con coordenadas extremas de 22°05'03", 22°24'12" N, 98°52'48", 99°00'22" O (Figura 19 y Figura 20). Colinda con Tamaulipas, en los municipios Ciudad Valles y Tamuín sobre un macizo montañoso de suaves pendientes hacia la vertiente oeste y con una abrupta topografía hacia el este, que nace al pie del río Tampaón al sur, y termina al norte a la altura de Ciudad Victoria, Tamaulipas. La sierra del Abra Tanchipa, denominada también anticlinal "El Abra", se conformó como frente fisiográfico de la Sierra Madre Oriental, configurándose como una prominencia alargada, cuya topografía no rebasa los 500-650 msnm y cuyas dimensiones son aproximadamente de 50 km., de longitud con una orientación NW 25° SE, que se prolonga en la Sierra de las Cucharas al norte, cuyas alturas no rebasan los 600-800 msnm con una superficie de 21,464 ha, y una zona núcleo de 16,758 ha (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995). El 81% es propiedad ejidal y 19% propiedad privada (Sánchez-Ramos *et al.*, 1993).



Fuente: Mesomaya-CONANP, 2010-2017.

Figura 19. Ubicación de la Reserva de la Biósfera Sierra del Abra Tanchipa.



Fuente: SEMARNAT-CONANP, 2014.

Figura 20. Mapa complementario, con Topografía, Uso de Suelo y Vegetación (2008) de la Reserva de la Biósfera Sierra del Abra Tanchipa.

3.3 Antecedentes Históricos

El área se encuentra en la región de La Huasteca, etimológicamente el nombre de la sierra proviene del huasteco: *Abra*, que significa bahía, apertura o paso entre montañas y *Tanchipa* que deriva del vocablo *Tam-Tzilpa*, que significa lugar del guiso *tzilpan* (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

Cercanos a la reserva se ubican importantes sitios arqueológicos de la cultura huasteca: Tamuín y Tantoc (Martínez, 1994 en Gómez-Pompa y Dirzo, 1995), han sido identificados 17 sitios arqueológicos como Cerro Alto, Vista Hermosa, Tampacuala, El Peñón Tanchipa y el más destacado La Hondurada centro ceremonial. La reserva cuenta con media docena de cuevas poco exploradas, entre las que destaca Corinto, Tanchipa, El Ciruelo y Los Monos, así como incontables rocas labradas y otros vestigios como pinturas rupestres (Vargas, 2010).

Durante la Colonia, la sierra fue vía de acceso y paso hacia otros estados, considerada punto de descanso y estancia para ganado menor, establecimiento de potreros, encomiendas y mercedes de poderosos personajes. A pesar de que la Huasteca potosina ha sufrido cambios notorios, los huastecos en la actualidad aún conservan su idioma y algunas costumbres ancestrales, incluyendo usos tradicionales de flora y fauna. En los municipios de la reserva existe una población considerable de indígenas huastecos (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

3.3.1 Antecedentes del Proyecto del Área Natural Protegida en los contextos: Nacional, Regional y Local

La declaratoria de Reserva de la Biósfera a una porción de la Sierra del Abra Tanchipa, es el resultado del interés manifestado por la sociedad, organizaciones de la sociedad civil de Ciudad Valles y Tamuín (Proyecto Verde, A. C.), el Gobierno del Estado de San Luis Potosí y el Gobierno Federal (SEMARNAT-CONANP, 2014).

Todos ellos preocupados por la rápida desaparición de la cubierta vegetal en la zona a causa de la tala y a la ampliación de las actividades ganaderas, así como, por la necesidad de contar con un Área Natural Protegida que permita asegurar los fenómenos de infiltración hacia los mantos acuíferos de la zona circunvecina a la Sierra del Abra

Tanchipa, por lo que llamaron la atención del Poder Ejecutivo Federal sobre la urgencia de establecer espacios protegidos en el área, dado que no existía antecedente alguno de decretos de protección previos (SEMARNAT-CONANP, 2014).

Derivado de lo anterior, el 24 de junio de 1991 se firmó un convenio entre la Delegación de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) de San Luis Potosí, y el Instituto de Ecología y Alimentos de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, dicho convenio comprendió la ejecución de un contrato de prestación de servicios profesionales. De acuerdo con las modalidades regulatorias de la SEDUE en materia de ecología y protección del medio ambiente, comprendió la realización de diferentes estudios (recursos abióticos, hídricos, florísticos, etc.) para poder obtener información que sustentara la declaratoria del Área Natural Protegida (IEA, 1992; SEMARNAT-CONANP, 2014). El 6 de junio de 1994 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto por el que se declara como Área Natural Protegida, con el carácter de Reserva de la Biósfera, la región conocida como Sierra del Abra Tanchipa, ubicada en los municipios de Ciudad Valles y Tamuín, estado de San Luis Potosí, la cual comprende una superficie total de 21 mil 464 hectáreas (SEMARNAT-CONANP, 2014), con una zona núcleo de 16 mil 758 hectáreas (CONABIO, 1995).

3.4 Geología y Paleontología

El área se localiza dentro del frente oriental de la plataforma Valle-San Luis Potosí, que se ubica en la porción centro-oriental del Altiplano Mexicano y parte de la Sierra Madre. Hace millones de años, la región de La Huasteca estaba cubierta por el Océano Atlántico; el levantamiento de la Sierra Madre se inició a finales del Jurásico hasta el Cretácico, razón por la que su estratigrafía está constituida por una secuencia de rocas de mares someros o de plataformas, también cuenta con rocas depositadas en mares relativamente profundos como son las de tipo calcáreo arcilloso de las formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez (Farach, 1992 en CONABIO, 1995). La Reserva se caracteriza por tener rocas de plataforma sobrepuestas a las de cuenca en zonas muy alteradas, tectonizadas y fracturadas, al interior de la sierra de Tanchipa se encuentran numerosos restos fósiles de carácter paleontológico (Vargas, 2010).

3.5 Climatología

El área incluye un gradiente altitudinal que va desde los 250 hasta los 800 m, con un tipo de clima:

- Cálido subhúmedo (Aw_1, x'), con humedad media en verano mayor a 10.2 y menor a 60 (humedad media relativa en ambiente). El 2% del territorio total tiene una temperatura media anual mayor a 22°C, con una temperatura del mes más frío de 18°C. La precipitación media anual va de los 500 a los 2,500 mm, con una precipitación del mes más seco entre los 0 y 60 mm. Las lluvias de verano aportan del 5% al 10.2% de la humedad total anual (Arriaga *et al.*, 2012). La mayor parte de la zona está caracterizada acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García, con lluvias en verano y 1,070 mm de promedio por año (Barral Caballero, 1992 en Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).
- Cálido subhúmedo (Aw_2) (más húmedo), con ausencia de humedad en verano, N/A, entre 5 y 10.2, < 60, > 22. Cálido subhúmedo, 98% del territorio, con una temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C, precipitación media anual de 500 a 2,500 mm y precipitación del mes más seco entre los 0 y 60 mm; lluvias de verano del 5% al 10.2% anual (Arriaga *et al.*, 2012).

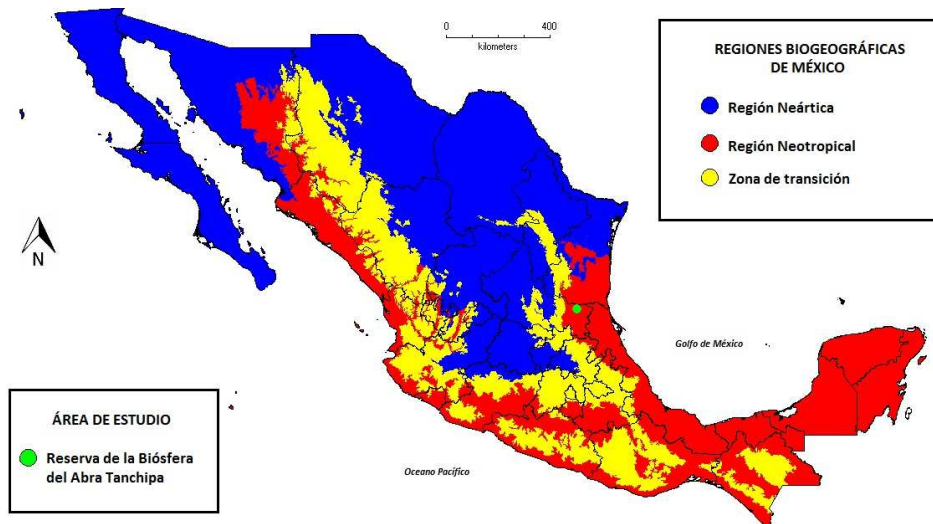
3.6 Hidrología

La reserva se encuentra dividida en dos grandes regiones hidrológicas, la parte norte que corresponde a la cuenca del río Guayalejo, que se encuentra conformada por el río Tantoán, y la parte centro-sur, incluida dentro de la cuenca del río Pánuco y constituida por los ríos del Puerto, Valles y Tamuín (Sánchez-Ramos *et al.*, 1993; Vargas, 2010).

3.7 Caracterización del Área de Estudio

La región del Abra Tanchipa forma parte de la Sierra Madre Oriental y constituye un importante factor para las condiciones climáticas regionales, ya que actúa como barrera meteorológica entre la llanura costera del Golfo y el altiplano (INE, 1995 en Vargas, 2010). Además de que se encuentra entre los límites de la región biogeográfica Neártica y

Neotropical (Figura 21), y es el límite boreal de las selvas medianas perennifolias y bajas caducifolias, lo que explica su extraordinaria biodiversidad (Vargas, 2010), tanto en flora como en fauna.



Fuente: Procesado de INEGI-CONABIO-INE, 2008.

Figura 21. Regiones biogeográficas de México y área de estudio.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana Nom-059-Semarnat-2010, la mayoría de especies de flora y fauna existentes en la sierra, se encuentran enlistadas bajo algún tipo de protección ambiental con las siguientes categorías (PROFEPA, 2010):

- Peligro de extinción (P)
- Amenazada (A)
- Sujetas a protección especial (Pr)

3.7.1 Vegetación

Las selvas del área constituyen el límite boreal para estos ecosistemas en el continente americano. Las poblaciones de las especies de origen tropical constituyen ecotipos¹⁴ de un gran valor evolutivo, adaptados a temperaturas invernales bajas (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

¹⁴ Ecotipo. Población adaptada localmente; raza o grupo infraespecífico que posee caracteres distintivos, que son resultado de presiones selectivas del ambiente local (Lincoln *et al.*, 2009).

Sin embargo este tipo de vegetación está dominado por árboles de diferentes especies de hoja caduca, que se desarrolla en ambientes cálidos con diferenciados muy marcadas entre las temporadas de lluvias y de estiaje. La condición de subcaducifolia o caducifolia depende de la proporción de árboles que pierden el follaje en la temporada de sequía. (Vargas, 2010). Se han registrado 231 especies de plantas vasculares pertenecientes a 192 géneros y 70 familias, distribuidas en las siguientes comunidades vegetales (Mora Olivo *et al.*, 1992 en Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

3.7.1.1 Selva Baja Subperennifolia

La vegetación de la selva baja subperennifolia corresponde a parte del bosque espinoso descrito por Rzedowski (1978). Se localiza al este de la Sierra del Abra Tanchipa en terrenos planos que se inundan en época de lluvias; sin embargo, la comunidad está fuertemente perturbada por desmontes y pastoreo, de manera que en grandes áreas han sido sustituidas por pastizales inducidos. Las especies características son: *Crescentia alata*, Kunth, 1819; *Parmentiera aculeata*, (Kunth) Seem; *Pithecellobium ebano*, (Berl.) Muller; *Acacia farnesiana*, (L.) Willd 1806; *Acacia rigidula*, (Benth.) Britton & Rose; *Pithecellobium pallens*, (Benth.) Standl. (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

3.7.1.2 Selva Mediana Subperennifolia

Descrita por Rzedowski (1978) (CONABIO, 1995), es equivalente a parte del bosque tropical perennifolio, el cual no es muy abundante y sólo se localiza en pocas zonas protegidas entre los 650 y 700 msnm aproximadamente, donde se mezcla con la selva baja caducifolia. Las especies características son: *Brosimum alicastrum*, Sw. subsp. *alicastrum*, C.C. Berg, 1972; *Mirandaceltis monoica*, (Hemsl.) Sharp; *Lysiloma divaricata*, (Jacq.) Macbr; *Bursera simaruba*, (L.) Sarg, 1890; *Wimmeria concolor*, Schltld. & Cham, 1831; *Clorophora tinctoria*, (L.) Gau; *Coccoloba barbadensis*, Jacq, 1760; *Chamaedorea radicalis*, Mart, 1849; *Exostema mexicanum*, A. Gray; *Bomarea hirtella*, (Kunth) Herb (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

3.7.1.3 Selva Baja Caducifolia

Constituye el mayor porcentaje de vegetación y corresponde al bosque tropical caducifolio descrito por Rzedowski (1978) (CONABIO, 1995). Se localiza desde los 300 hasta los 700 msnm. En muchas zonas ha sido sustituida por vegetación secundaria, particularmente

palmares de *Sabal mexicana*, Mart, 1845; en las partes bajas y de *Brahea dulcis*, (Kunth) Mart; en las zonas altas, las especies características son: *Lysiloma microphyllum*, Benth; *Beaucarnea inermis*, (S. Watson) Rose, 1906 ^(A); *Guazuma ulmifolia*, Lam, 1789; *Phoebe tampicencis*, (Meisn.) Mez; *Bursera simaruba*, (L.) Sarg, 1890; *Myrcianthes fragans*, (Sw.) Mc Vaugh; *Croton niveus*, Jacq; *Sapium appendiculatum*, (Müll. Arg.) Pax & K. Hoffm; *Annona globiflora*, Schldl; *Bromelia pinguin*, Linneo; *Adiantum tricholepsis*, Fee; *Celosia nitida*, Vahl, 1791, *Carex sp.*, L, 1753; *Hippocratea celastroides*, Kunth; *Cardiospermum sp.*, L; *Tillandsia ionantha*, Planch (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

3.7.1.4 Encinar Tropical

Se localiza en áreas muy restringidas en las partes bajas de la sierra formando manchones aislados en medio de la selva baja caducifolia, actualmente se encuentra muy perturbado. Las especies características son: *Quercus oleoides*, Schldl. & Cham, 1830; *Guazuma ulmifolia*, Lam, 1789; *Sabal mexicana*, Mart, 1845; *Acacia farnesiana*, (L.) Willd, 1806; *Lantana camara*, Linnaeus, 1753; *Setaria geniculata*, Beauv. (Rzedowski y Rzedowski, 2001); *Croton ciliatoglandulifer*, Ortega (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

3.7.1.5 Palmar

Es un tipo de vegetación secundaria derivada de la selva baja caducifolia; esta comunidad ha sido inducida por los constantes incendios. Las especies características son: *Sabal mexicana*, Mart, 1845; *Karwinskia humboldtiana*, (Schult.) Zucc; *Guazuma ulmifolia*, Lam, 1789; *Zanthoxylum fagara*, (L.) Sarg; *Calliandra houstoniana*, (Mill.) Standl; *Pisonia aculeata.*, L (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

3.7.1.6 Vegetación Secundaria

Distribuida en todos los tipos de vegetación debido a las perturbaciones provocadas por la actividad humana. Los tipos de vegetación reportados para la Sierra del Abra Tanchipa, le confieren una marcada importancia en diversidad vegetal dentro de los ecosistemas presentes en la Huasteca potosina sobre todo, si se, considera que existe una proyección de estos tipos de vegetación más hacia el norte y que puede llegar a representar un corredor ecológico entre los estados de San Luis Potosí y Tamaulipas (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

3.7.1.7 Taxas Notables

Soyate *Beaucarnea inermis*, (S. Watson) Rose, 1906 ^(A); palma *Brahea dulcis*, (Kunth) Mart; palmilla *Chamaedorea radicalis*, Mart; chamal *Dioon edule*, Lindl, 1843 ^(P); orquídeas *Encyclia mariae*, (Ames) Withner, 1998; *Stanhopea tigrina*, Batem. ex Lindl ^(A); *Encyclia cochleata*, (L.) Dressler; chicharrilla *Harpalyce arborescens*, A. Gray; *Lycaste aromatica*, (Graham) Lindl, 1843; *Tillandsia ionantha*, Planch; *Zamia fischeri*, Miq ^(P); *Ceratozamia kuesteriana*, Regel, 1857 ^(P); *Cupressus benthamii*, Endl; *Diospyros riojae*, Gómez Pompa ^(P); *Isochilus unilaterale*, Robinson (Sánchez-Ramos *et al.*, 1993).

3.7.1.8 Taxas Amenazados

Beaucarnea inermis, (S. Watson) Rose, 1906 ^(A); *Brahea dulcis*, (Kunth) Mart; *Ceratozamia kuesteriana*, Regel ^(R); *Chamaedorea radicalis*, Mart, 1849; *Cupressus benthamii*, Endl; *Dioon edule*, Lindl, 1843 ^(P); *Diospyros riojae*, Gómez Pompa ^(P); *Encyclia mariae*, (Ames) Withner, 1998; *Harpalyce arborescens*, A. Gray; *Encyclia cochleata*, (L.) Dressler; *Isochilus unilaterale*, Robinson; *Lycaste aromatica*, (Graham) Lindl, 1843; *Stanhopea tigrina*, Bateman ex Lindl, 1838 ^(A); *Tillandsia ionantha*, Planch; *Zamia fischeri*, Miq ^(P) (Sánchez-Ramos *et al.*, 1993).

3.7.2 Fauna

Se han registrado 161 especies de vertebrados, de los cuales 30% son mamíferos, 51% aves, 13% reptiles y 5% anfibios (Treviño 1993 en CONABIO, 1995; Vargas, 2010).

La región de la Sierra Madre Oriental es de alto nivel de endemismos de herpetofauna; existen entre 500 y 650 especies endémicas compartidas y 7 especies exclusivas. La parte de la Sierra Madre Oriental (SMO) que corresponde al estado de San Luis Potosí cuenta con un promedio de 15 especies de aves endémicas; en la zona huasteca con 14 Galliformes en peligro de extinción y hay 22 especies vulnerables (Psittaciformes). El nivel de endemismos en esta zona es alto, con 39 especies de mamíferos (Atlas Nacional de México, 1980 en Vargas, 2010).

3.7.2.1 Taxas Notables

Venado cola blanca *Odocoileus virginianus*, Zimmermann, 1780; jabalí *Tayassu tajacu*, Linnaeus, 1758; conejo *Sylvilagus floridanus*, J. A. Allen, 1890; *Cryptotis mexicana*, Pomel, 1848 ^(P); *Plecotus mexicanus*, G.M. Allen, 1916; *Rhogeessa alleni*, Thomas, 1892;

Cynomys mexicanus, Merriam, 1892 ^(P); *Sciurus alleni*, Nelson, 1898; *S. oculatus*, Peters, 1863 ^(Pr); *Dipodomys nelsoni*, Merriam, 1907; *D. phillipsii*, Gray, 1841 ^(Pr); *Perognathus lineatus*, Dalquest, 1951; *Neotoma goldmani*, Merriam, 1903; *Peromyscus furvus*, J.A. Allen & Chapman, 1897; *P. melanophrys*, Coues, 1874; *Microtus quasiater*, Coues, 1874 ^(Pr). En esta reserva posiblemente se encuentran la guacamaya verde *Ara militaris*, Linnaeus, 1766 ^(P); loro de cabeza roja *Amazona viridigenalis*, Cassin, 1853 ^(P); el cuervito mexicano *Corvus imparatus*, Peters, 1929; el loro de frente roja *Amazona autumnalis*, Linnaeus, 1758 (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

3.7.2.2 Taxas Amenazados

Probablemente se localicen en la región: *Leptonycteris curasoae*, Miller, 1900 ^(A); *L. sanborni*, Hoffmeister, 1957; *Choeronycteris mexicana*, Tschudi, 1844 ^(A) (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

3.7.2.3 Raros

Taxus globosa, Schltld ^(Pr); Garza morena *Ardea herodias*, Linnaeus, 1758 ^(Pr); *Dipodomys phillipsii*, Gray, 1841 ^(Pr) (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

3.7.2.4 Taxas en Peligro de Extinción

Jaguar *Panthera onca*, Linnaeus, 1758 ^(P); tigrillo *Leopardus wiedii*, Schinz, 1821 ^(P); ocelote *L. pardalis*, Linnaeus, 1758 ^(P); leoncillo *Herpailurus yagouaroundi*, É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1803 ^(A); puma *Felis concolor*, Linnaeus, 1771; víbora de cascabel *Crotalus molossus*, Baird & Girard, 1853 ^(Pr) (Sánchez-Ramos *et al.*, 1993; Treviño *et al.*, 1991 en Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

3.7.3 Asentamientos Humanos

Dentro del área protegida y en la zona de influencia se encuentran confluyendo ejidos pertenecientes a los Municipios: Ciudad Valles y Tamuín (Cuadro 7) (Vargas, 2010). De acuerdo a INEGI (2005) en SEDESOL (2010): para el año 2010, la población total del Abra es de 734 personas, de cuales 348 son masculinos y 386 son femeninas.

Siendo las principales actividades económicas, uso ganadero (56%), forestal (32%), agrícola (9%) y otro tipo de actividades (3%) (Sánchez-Ramos *et al.*, 1993 en CONABIO, 1995; Gómez y Dirzo, 1995). Aunque no existe información reciente, se conoce de la apertura de terreno para la extracción de madera (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995).

Cuadro 7. Municipios y ejidos que convergen en la RBAT. San Luís Potosí. México.

<i>Municipio</i>	<i>Ejido</i>	<i>Habitantes</i>
<i>Ciudad Valles</i>		177,022 (INEGI, 2015)
	Laguna del Mante	2,036 (SEDESOL, 2010)
	Los Sabinos No. Dos	694 (SEDESOL, 2010)
<i>Tamuín</i>		38,751 (INEGI, 2015)
	Palmas	1476 (INEGI, 2005 en Nuestro México, 2011)
Zona de influencia		
<i>Ciudad Valles</i>	Gustavo Garmendia	434 (SEDESOL, 2010)
	León García	237 (SEDESOL, 2010)
	Montecillos	75 (SEDESOL, 2010)
	Cañón del Taninúl	131 (INEGI, 2005 en Nuestro México, 2011)
	Tanculpaya	s/d (SEDESOL, 2010)
	Los sabinos	694 (SEDESOL, 2010)
<i>M. Tamuín</i>	Estación Guerrero II	3 (INEGI, 2005 en Nuestro México, 2011)

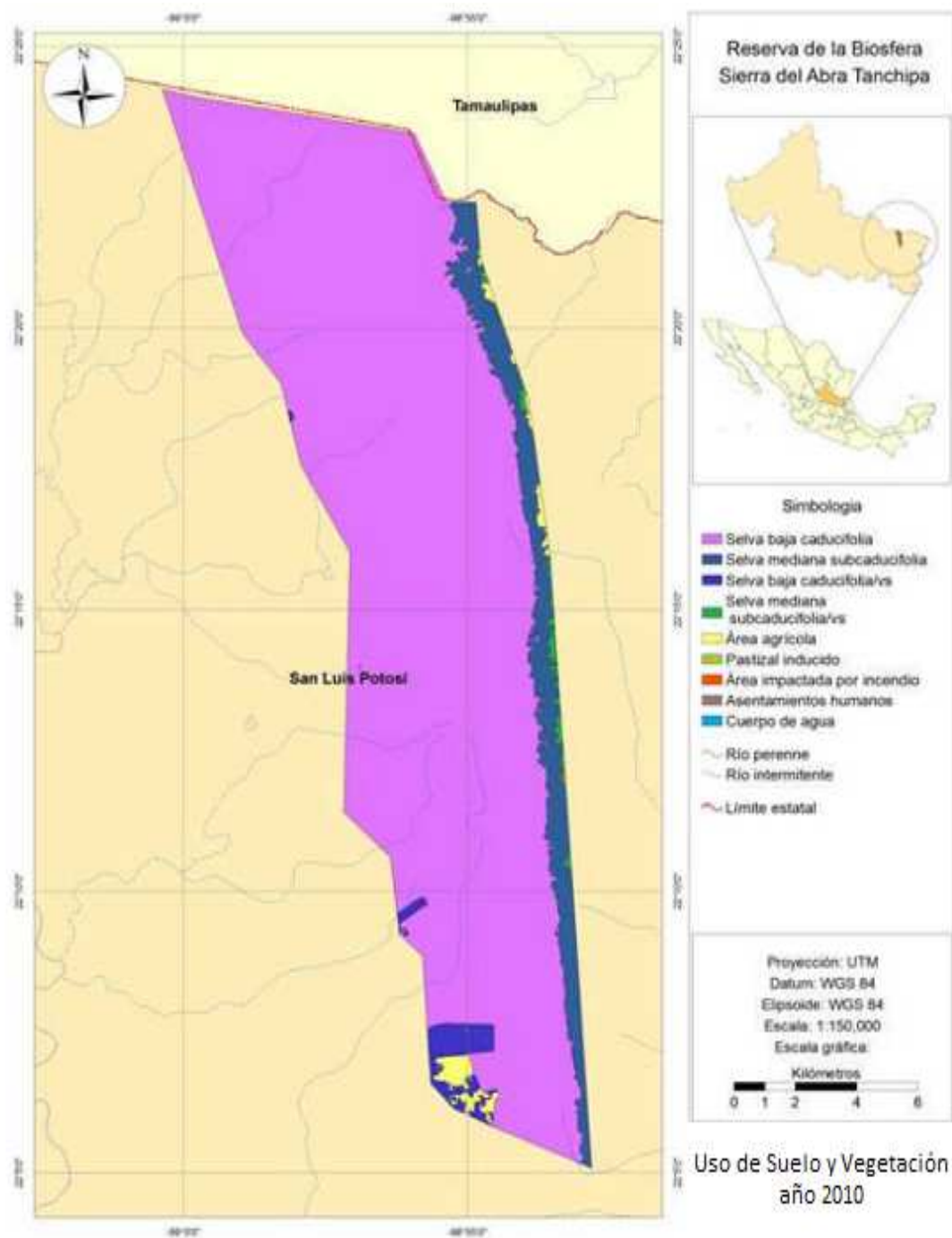
Fuente: Compendio de diferentes autores.

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Selección de Puntos de Muestreo

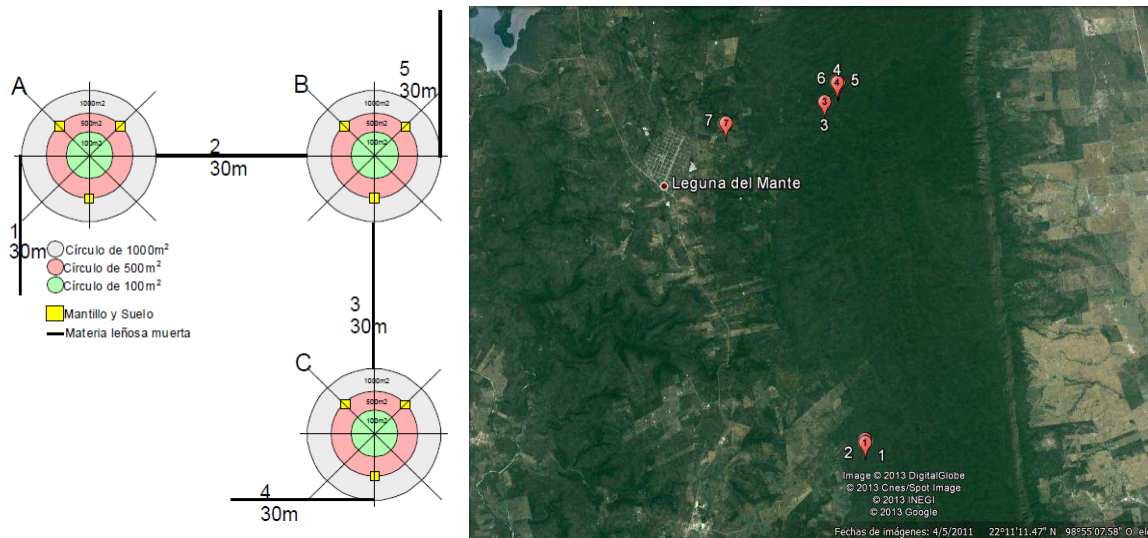
El insumo básico utilizado para la elaboración del presente estudio consiste en los mapas de uso de suelo y vegetación elaborados por Mesomaya-CONANP (2010-2017) (Figura 22), desarrollados durante el proyecto: *“Iniciativa de México para la protección del clima en el Corredor ecológico Sierra Madre Oriental y en las lagunas costeras Laguna Madre y Marismas Nacionales” (Cambio Climático en ANP’s)*, abarcando la Reserva de la Biósfera del Abra Tanchipa. A partir de dichos mapas se analizó con ayuda del personal y directivos del ANP, la distribución de los diferentes tipos de vegetación en el área de estudio, posteriormente se establecieron los puntos de muestreo representativos de cada una de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo (Figura 23, Ver Anexo Cuadro 14).

Los muestreos en campo se realizaron siguiendo el método de muestreo: anidado ($n= 3$), jerárquico, estratificado, con distribución sistemática, propuesto por Ordóñez *et al.* (2008), se determinó la biomasa en diferentes almacenes, se realizó el inventario de existencias reales forestales (volumen maderable expresado en $m^3 ha^{-1}$) y se analizó el cambio en la cobertura vegetal y uso de suelo, posteriormente se integró con el contenido de carbono en biomasa aérea, mantillo y suelo. Los sitios seleccionados fueron de fácil acceso estableciendo una “línea base” en la captura de carbono y se propuso que dichas áreas fueran monitoreadas continuamente en el ANP por el personal de la misma.



Fuente: Mesomaya-CONANP, 2010-2017.

Figura 22. Polígono de la Reserva de la Biósfera del Abra Tanchipa con clasificación de CVyUS.



Fuente: Ordóñez, 1999; 2008b.

Fuente: Google Earth, 2013.

Figura 23. Diseño de muestreo y selección de puntos de muestreo.

4.2 Parámetros Estimados

4.2.1 Área Basal

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

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

Donde:

AB= área basal (m²)

π = 3.1416

DN= diámetro normal (m)

4.2.2 Altura

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

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

Donde:

h= altura (m)

ln= logaritmo natural del diámetro normalizado

DN= diámetro normal (m)

4.2.3 Volumen

La determinación del volumen se calculó a partir del área basal, se multiplicó por la altura y por un coeficiente mórfico¹⁵ (Ordóñez *et al.*, 1998; Ordóñez 1999; Fragoso, 2003; García, 2010).

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

Donde:

V= volumen (m³)
AB= área basal (m²)
h= altura (m)
0.7= coeficiente mórfico

4.3 Biomasa Aérea

Para realizar la estimación de biomasa aérea (materia orgánica seca contenida en tronco, ramas, hojas y partes reproductivas de los árboles) se multiplicó el volumen de cada árbol por un factor de densidad (0.63) de la madera reportado para las especies registradas (Ordóñez *et al.*, 2015).

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

Donde:

B= biomasa (t)
V= volumen (m³)
 δ = densidad de la madera (g cm⁻³ ó bien t m⁻³) 0.63

4.4 Estimación de Contenido de Carbono y Captura Potencial de Carbono

4.4.1 Estimación del Contenido de Carbono

Posteriormente se procedió a determinar el contenido de carbono y su potencial de captura, en la hectárea tipo de acuerdo a Ordóñez (2008a) con la siguiente ecuación:

$$CAER = E.R. * \delta * CC$$

¹⁵ Coeficiente mórfico, es la relación entre el volumen del tronco de un árbol y el producto de su altura por el área bisimétrica, es decir, el volumen de un cilindro vertical cuya sección es el área bisimétrica (S.E.C.F, 2005).

Donde:

CAER= Carbono almacenado por especie y por tipo de cobertura vegetal expresado en MgC ha⁻¹

E.R= Existencias Reales m³ ha⁻¹

δ = Densidad de la madera para cada especie expresada en t m⁻³ (0.63)

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

Ya estimado el carbono almacenado en las diferentes especies arbóreas presentes por cobertura vegetal y uso de suelo (CAER), se sumaron los valores obtenidos de las especies contenidas en la cobertura vegetal y uso de suelo; como resultado se obtuvo el carbono almacenado por cobertura vegetal (CAER) que se expresa en Megagramos de carbono¹⁶ (MgC ha⁻¹).

Para saber la cantidad de carbono que se encontraba almacenado en la superficie, se procedió a multiplicar la extensión de la cobertura vegetal por el promedio de CAER de cada sitio y se obtuvo Megagramos de carbono por cobertura vegetal (MgC por cobertura vegetal) (Ordóñez, 2008b).

4.4.2 Estimación de la Captura Potencial de Carbono

El potencial de captura de carbono, se estimó a partir del incremento corriente anual por especie, para cada hectárea muestreada (Ordóñez, 2008a):

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

Donde:

PCC= Potencial de captura de carbono MgC ha⁻¹año⁻¹

I.C.A.= Incremento corriente anual m³/ha/año. Se agrega el rango intermedio del 2% y se multiplica por dos, por la existencia real

δ = Densidad de la madera para cada especie expresada en t m⁻³ (0.63)

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

4.4.3 Estimación de Captura de CO₂e

Para conocer la captura de carbono expresada en dióxido de carbono equivalente (CO₂e), se multiplicó el contenido de carbono de cada sitio, por la relación del peso molecular del dióxido de carbono (CO₂ [44]) dividido entre el peso molecular del carbono (C [12]) (44/12) (IPCC, 2006).

¹⁶ Una tonelada (t) de carbono (C) es igual a un Megagramo (Mg) de carbono (C) (IPCC, 2001c).

4.5 Estimación de Costos

Se realizó la comparación del costo potencial de la captura de carbono, en toneladas de dióxido de carbono equivalente al año, por la superficie estimada de cada clase de cobertura vegetal, expresado en $\text{MgCO}_2\text{e/año}^{-1}$, multiplicando por el valor del mercado voluntario de carbono, en México tasado con 10 USD por MgCO_2e que se encuentra vigente desde el año 2008 hasta el año 2017. Tomando en consideración el valor presente neto (VPN) de 17.97 pesos mexicanos un dólar (tipo de cambio a 10 de agosto del 2017) con base a Reuters (2017). Se compararon los costos en el mercado nacional e internacional del servicio ambiental captura de carbono.

CAPÍTULO V RESULTADOS

5.1 Clasificación de la Cobertura Vegetal y Uso de Suelo (CVyUS) en el Área de Estudio

Se confirmó la clasificación de CVyUS a partir de los mapas generados por Mesomaya-CONANP (2010-2017), obteniendo cuatro clases de cobertura vegetal: selva baja caducifolia, selva baja caducifolia con vegetación secundaria, selva mediana subcaducifolia, selva mediana subcaducifolia con vegetación secundaria y cinco categorías de uso de suelo: presencia y/o evidencia de pastizal inducido, áreas agrícolas, áreas impactadas por los incendios y localización de asentamientos humanos. Se agregó la categoría: Cuerpo de Agua (Cuadro 8).

Cuadro 8. Clasificación de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo (CVyUS).

Cobertura Vegetal	Uso de Suelo
<i>Selva Baja Caducifolia</i>	Área agrícola
<i>Selva Mediana Subcaducifolia</i>	Área impactada por incendios
<i>Selva Baja Caducifolia con vegetación secundaria</i>	Pastizal inducido
<i>Selva Mediana Subcaducifolia con vegetación secundaria</i>	Zona Urbana
	Cuerpo de agua

5.2 Estimación de Superficie (ha) y Porcentaje (%) de la Cobertura Vegetal y Uso de Suelo (CVyUS) en el Área de Estudio

La estimación de la superficie en hectáreas (ha) y porcentaje (%), se realizó en conjunto con la clasificación de CVyUS, y se divide en dos grandes categorías: Forestal y no Forestal, en el Cuadro 9 se ordenan de mayor a menor abundancia relativa¹⁷.

Categoría Forestal

La categoría Forestal, se clasificó en cuatro clases de cobertura vegetal. La mayor extensión correspondió a: selva baja caducifolia con 19,106 ha y un porcentaje de 89%; por el contrario, la selva mediana subcaducifolia con vegetación secundaria, registró la

¹⁷ Abundancia, es el número total de individuos de una especie o especies que existen en un área, volumen, población o comunidad. Abundancia relativa es el número total de individuos de un taxón, comparado con el número total de individuos de todos los demás taxones combinados, por unidad de área, volumen o comunidad (Lincoln *et al.*, 2009).

menor superficie con 114 ha y a su vez el menor porcentaje de 0.53%, mientras que la selva mediana subcaducifolia presentó un valor intermedio con una extensión de 1,659 ha y un porcentaje de 7.73%, seguido de la cobertura vegetal selva baja caducifolia con vegetación secundaria, con una superficie de 335 ha y un porcentaje de 1.65%, de lo que resultó una extensión total de 21,234 ha con un porcentaje de 98.9%.

Categoría No Forestal

La categoría no Forestal, se clasificó en cinco clases de uso de suelo. La mayor extensión correspondió al Suelo Agrícola con 228 ha y un porcentaje de 1.06%, inversamente la menor extensión lo presentó la categoría cuerpo de Agua con una extensión de 0.001 ha y un porcentaje de 0.005%, con un valor intermedio se presentó el Área Impactada por Incendios con una extensión de 2.8 ha y un porcentaje de 0.01%; subsecuentemente, la categoría de Zona Urbana abarcó una extensión de 1.0 ha y un porcentaje de 0.005%, mientras que, la categoría de Pastizal Inducido abarcó una extensión de 0.5 ha y un porcentaje de 0.002%. El total de la categoría no Forestal reunió una extensión total de 233.001 ha y un porcentaje de 1.085%.

Cuadro 9. Extensión (ha) y porcentaje (%) por cada categoría forestal y no forestal, en el área de estudio.

<i>Categoría</i>	<i>Vegetación</i>	<i>Hectáreas (ha)</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
Forestal	Selva Baja Caducifolia	19,106	89
	Selva Mediana Subcaducifolia	1,659	7.73
	Selva Baja Caducifolia con vegetación secundaria	355	1.65
	Selva Mediana Subcaducifolia con vegetación secundaria	114	0.53
	TOTAL	21,234	98.92
No Forestal	Uso de Suelo	Hectáreas (ha)	Porcentaje (%)
	Área agrícola	228	1.06
	Área impactada por incendios	2.8	0.01
	Pastizal inducido	0.5	0.002
	Zona Urbana	1	0.005
	Cuerpo de agua	0.001	0.005
	TOTAL	233.001	1.085

5.3. Estimación de Captura Potencial de Carbono equivalente por tipo de Cobertura Vegetal

En la RBAT se encontraron presentes cuatro clases de cobertura vegetal: selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia, selva baja caducifolia con vegetación secundaria y selva mediana con vegetación secundaria

Dentro del uso de suelo en categoría Forestal, se estimó en tres de los cuatro tipos de cobertura presentes (Cuadro 10):

- 1) La captura de carbono almacenado por hectárea expresado en MgC ha^{-1} .
- 2) La captura potencial de carbono por hectárea expresada en $\text{MgCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.
- 3) La captura potencial de dióxido de carbono equivalente por hectárea expresada en $\text{MgCO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.
- 4) La captura potencial de dióxido de carbono equivalente por año por cobertura vegetal, expresada en $\text{MgCO}_2\text{e año}^{-1}$.

Los resultados más destacados indican que la selva mediana subcaducifolia tiene la mayor cantidad de captura potencial de CO_2e por hectárea con $8.80 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, y una captura potencial intermedia de dióxido de carbono equivalente por año por cobertura vegetal de $14,601.63 \text{ MgCO}_2\text{e año}^{-1}$. De manera contraria, la selva baja caducifolia con vegetación secundaria presentó la menor cantidad de captura potencial de CO_2e por hectárea con $2.50 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ y la menor captura potencial de dióxido de carbono equivalente por año por cobertura vegetal de $886.93 \text{ MgCO}_2\text{e año}^{-1}$.

La selva baja caducifolia secundaria registró un valor intermedio de captura potencial de CO_2e por hectárea con $4.53 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ y la mayor captura potencial de dióxido de carbono equivalente por año por cobertura vegetal de $86,548.63 \text{ MgCO}_2\text{e año}^{-1}$.

Los valores de captura potencial de CO_2e integrados y totalizados de las coberturas vegetales presentes en la RBAT, reportaron un valor de $15.83 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, así como una captura potencial de dióxido de carbono equivalente por año con un total de $102,037.20 \text{ MgCO}_2\text{e año}^{-1}$.

Cuadro 10. Valores de carbono almacenado: captura potencial por categoría presente en el área de estudio.

<i>Cobertura Vegetal/Usos de suelo</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Porcentaje (%)</i>	<i>Carbono Almacenado por hectárea (MgC ha⁻¹)</i>	<i>Captura potencial de carbono por hectárea (MgCO₂ ha⁻¹ año⁻¹)</i>	<i>Captura potencial de dióxido de carbono equivalente por hectárea (MgCO₂e ha⁻¹ año⁻¹)</i>	<i>Captura potencial de Megagramos de dióxido de carbono equivalente por año por cobertura vegetal (MgCO₂e año⁻¹)</i>
<i>Uso de Suelo No Forestal</i>	232.001	1.08	na	na	na	na
<i>Cuerpo de agua</i>	0.001	0.005	na	na	na	na
<i>Selva Baja Caducifolia</i>	19,106	89	82.29	1.24	4.53	86,548.63
<i>Selva Baja Caducifolia/vs</i>	355	1.65	45.60	0.68	2.50	886.93
<i>Selva Mediana Subcaducifolia</i>	1,659	7.73	120.00	2.40	8.80	14,601.63
<i>Selva Mediana Subcaducifolia/vs</i>	114	0.53	np	np	np	np
<i>Valores totales del ANP</i>	21,466.72	100				102,037.20
<i>Captura potencial total de CO₂e del ANP en Megagramos</i>						
<i>Abreviaturas:</i>						
<i>na: no aplica</i>						
<i>np: no presente</i>						
<i>Color rojo: Valor ponderado</i>						

5.4 Valoración Económica del Servicio Ambiental Captura Potencial de Carbono en la RBAT

Con base en, los cálculos estimados de la capacidad de captura potencial en Megagramos de carbono por cobertura vegetal ($\text{MgCO}_2\text{e año}^{-1}$), se realizó la valoración económica del Servicio Ambiental Captura de Carbono, tomando como base la moneda dólar americano (divisa con la que se negocian dichos bonos) para su venta por cada MgCO_2e capturado y almacenado en el área de estudio.

5.4.1 Valoración Económica de la Captura Potencial de Carbono en diferente mercado

La valoración económica de la captura potencial y almacenamiento de carbono por cobertura vegetal, se realizó mediante una estimación de diferentes tipos de mercado, en el año 2017, afín de obtener un comparativo de precios de venta por cada MgCO_2e .

En el mercado Nacional se estableció como precio base 10 dólares (USD), en el mercado internacional se tomó como precio base 0.87 dólares (USD), en el mercado europeo se consideró como precio base 6.15 dólares (USD) y en el mercado americano se valoró con un precio base promedio 4.74 dólares (USD) (Cuadro 11).

Mercado Nacional

En el mercado nacional se estimó la valoración económica del Servicio Ambiental Captura de Carbono, colocando como precio base 10 USD por cada MgCO_2e .

El mayor valor en venta del servicio estimado corresponde a la cobertura vegetal selva baja caducifolia reportando un valor económico total en mercado de 865,486.33 USD; en contraste el menor monto lo obtuvo la selva baja caducifolia con vegetación secundaria con una estimación total de 8,869.31 USD, mientras que la cobertura vegetal selva mediana subcaducifolia presentó un valor intermedio total de 146,016.32 USD.

En conjunto las coberturas vegetales presentaron una valoración económica de 1'020,371.97 USD.

Mercado Internacional

En el mercado Internacional se hizo la valoración económica del Servicio Ambiental Captura de Carbono, tomando como precio base 0.87 USD por cada MgCO₂e.

La cobertura vegetal que obtuvo el mayor valor fue la selva baja caducifolia con una estimación de 75,297.31 USD; por el contrario el menor valor correspondió a la selva baja caducifolia con vegetación secundaria con 771.63 USD, mientras que el valor intermedio lo registró la selva mediana subcaducifolia con 12,703.42 USD.

En conjunto, las coberturas vegetales alcanzaron una estimación económica de 88,773.36 USD.

Mercado Europeo

En el mercado Europeo se llevó a cabo la valoración económica del Servicio Ambiental Captura de Carbono, colocando como precio base 6.15 USD por cada MgCO₂e.

El mayor valor obtenido correspondió a la selva baja caducifolia con una estimación en costo de 532,038.05 USD; por el contrario, el menor valor lo obtuvo la selva baja caducifolia con vegetación secundaria con 5,452.21 USD, al haber presentado un valor intermedio se reportó para la selva mediana subcaducifolia 89,760.22 USD.

En conjunto las coberturas vegetales mostraron una estimación de 627,250.48 USD.

Mercado Americano

En el mercado Internacional se calculó la valoración económica del Servicio Ambiental Captura de Carbono, colocando como precio alto 6.8 USD por cada MgCO₂e, precio mínimo 4.74 USD por cada MgCO₂e y precio promedio 5.66 USD por cada MgCO₂e.

Dentro del rango de la estimación alta, se pudo observar que la selva baja caducifolia presentó la mayor cotización con 588,215.99 USD; en contraste del menor valor monetario correspondió a la selva baja caducifolia con vegetación secundaria con una cotización de 6,027.91 USD. El valor económico intermedio lo ocupó la selva mediana subcaducifolia con una cotización de 99,238.00 USD.

En conjunto las coberturas vegetales presentaron una valoración económica con el precio alto de 693,481.90 USD.

Dentro del rango de la estimación mínima, la selva baja caducifolia presentó la mayor cotización, con 410,240.52 USD; en contraste, el menor valor monetario correspondió a la selva baja caducifolia con vegetación secundaria con una cotización de 4,204.05 USD. El valor económico intermedio lo ocupó la selva mediana subcaducifolia con una cotización de 69,211.74 USD.

En conjunto las coberturas vegetales presentaron una valoración económica con el precio mínimo económico de 4'483,656.31 USD.

Dentro del rango de la estimación promedio, la selva baja caducifolia presentó la mayor cotización con 489,550.54 USD; en contraste, el menor monetario correspondió a la selva baja caducifolia con vegetación secundaria con una cotización de 5,016.81 USD. El valor económico intermedio lo ocupó la selva mediana subcaducifolia con 82,592.14 USD.

En conjunto las coberturas vegetales presentaron una valoración económica con el precio promedio económico de 577,159.49 USD.

Cuadro 11. Valoración económica del servicio ambiental captura de carbono, en diferente tipo de mercado tasado en USD.

<i>Cobertura Vegetal</i>	<i>Captura potencial de dióxido de carbono equivalente por año por cobertura vegetal (MgCO₂e año⁻¹)</i>	<i>Precio Mercado Nacional 10 USD por MgCO₂e año⁻¹</i>	<i>Precio Mercado Internacional 0.87 USD por MgCO₂e año⁻¹</i>	<i>Precio Mercado Europeo 6.15 USD por MgCO₂e año⁻¹</i>	<i>Precio Mínimo Mercado Americano 4.74 USD por MgCO₂e año⁻¹</i>	<i>Precio Promedio Mercado Americano 5.66 USD por MgCO₂e año⁻¹</i>	<i>Precio Alto Mercado Americano 6.8 USD por MgCO₂e año⁻¹</i>
Selva Baja Caducifolia	86,548.63	865,486.33	75,297.31	532,038.05	410,240.52	489,550.54	588,215.99
Selva Baja Caducifolia/vs	886.93	8,869.31	771.63	5,452.21	4,204.05	5,016.81	6,027.91
Selva Mediana Subcaducifolia	14,601.63	146,016.32	12,703.42	89,760.22	69,211.74	82,592.14	99,238.00
Total	102,037.19	1'020,371.97	88,773.36	627,250.48	4483,656.31	577,159.49	693,481.90
Comparativo del valor económico del servicio ambiental captura de carbono en el ANP RBAT							
Abreviaturas							
vs: vegetación secundaria							
Cantidades expresadas en USD (Dólares Americanos) al tipo de cambio del 10 de agosto del 2017							
Fuente: REUTERS, Agosto 2017.							
Tipo de cambio peso dólar 10 de agosto del 2017, 17.97 pesos por un dólar americano				Mercado Europeo por tonelada de carbono. Mercado Americano Euros por tonelada de carbono.			

Para el presente año (2017) en México, se tienen registrados cinco proyectos de captura de carbono forestal, de acuerdo a Forest Carbon Portal (2017), y los proyectos locales que reciben un pago por el servicio ambiental captura de carbono están ubicados en el mercado voluntario por ser en el que mejor se oferta cada bono o certificado de captura de carbono.

CAPÍTULO VI DISCUSIÓN

6.1 Cartografía Utilizada en el Área de Estudio

El mapa generado por Mesomaya-CONANP (2010-2017), permite la delimitación del presente estudio, ya que, al encontrarse caracterizado el relieve y la cobertura hace posible la representación de la simbología como: tipo de cobertura vegetal, uso de suelo, cuerpos de agua, límites estatales y escala (1:150,000), con ello se establece una relación de proporcionalidad entre las longitudes de los elementos representados, de acuerdo a Esparza *et al.* (2000).

Tomando como base dicha cartografía actualizada (año 2017), se facilita la ubicación del sitio. El plano de terreno fue reducido proporcionalmente con respecto a sus dimensiones, permitiendo realizar predicciones y cálculos del territorio, así como, establecer preferencia por los sitios de muestreo. Sin embargo, se tuvieron sesgos, ya que dicho plano es utilizado para estudios descriptivos, y no muestra la orografía, lo que repercute en la preferencia de elección de áreas con fácil acceso. A pesar de ello se compensó con ayuda de los Directivos del Área Natural Protegida (ANP).

El mapa elaborado permite observar de manera unificada la cobertura del suelo forestal y no forestal, no obstante, queda enmascarado el estado que guarda cada clase de CVyUS relacionado con los cambios de composición, estructura, densidad de biomasa y los procesos que ocurren; por ello es necesario realizar nueva cartografía fina bien clasificada a detalle, para así precisar las zonas a elegir.

6.2. Distribución de la Cobertura Vegetal en la RBAT

Debido a la posición geográfica en la que se encuentra el área de estudio, se favorece la presencia de la selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia. Al localizarse dentro de la convergencia con dos zonas biogeográficas explica Morrone (2005), resulta una gran importancia ecológica influida de manera directa por factores abióticos como el sistema montañoso presente en el área de estudio.

Rzedowski (2006) señala que el clima es el factor determinante para el establecimiento de la vegetación, y que, diversos autores han encontrado con frecuencia que en México la

distribución geográfica de las comunidades vegetales no tiene correlaciones sencillas con el clima y a menudo es necesario recurrir a otros elementos del medio o a probables influencias de hechos ocurridos en el pasado geológico.

6.3 Clasificación de la CVyUS en la RBAT

Cobertura Vegetal

La cartografía propuesta por Mesomaya-CONANP (2010-2017), se tomó como base del presente estudio. Se corroboró por dos fuentes a) de manera bibliográfica consultando diferentes instituciones y autores tales como: Miranda y Hernández (1969); Rzedowski (1978); INEGI (1985); Medrano (2003), con base en esto y a las características exclusivas de cada cobertura vegetal, se logró categoriza la vegetación directamente relacionada con la altura, así como la presencia o ausencia de hojas en los árboles, b) con el trabajo en campo en el sitio generando campos de entrenamiento y cotejando con las imágenes de satélite de MODIS y Google Earth.

La cobertura vegetal de selva baja caducifolia recibe su nombre de acuerdo a CONABIO (2013), al presentar árboles con menos de 15 m de altura y pérdida de más del 75% de follaje en época de estiaje. Una variante asociada a dicha cobertura vegetal es la selva mediana subcaducifolia que reúne características distintivas, pues, de acuerdo a CONABIO (2013), posee una altura de los 15 hasta los 30 m y una pérdida de follaje del 50 al 75% en época de estiaje; evitando así consumir y gastar la energía producida, como resultado de una adaptación del organismo hacia el medio por condiciones adversas, y logrando una estrategia rentable el mantener o no la presencia de follaje, así como su abundancia.

Cabe señalar que ambas coberturas vegetales de selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia se registraron con presencia de vegetación secundaria, esto se puede deber a perturbaciones realizadas de manera antropogénica hacia el medio y probablemente la causa principal sea la modificación de uso del suelo. De acuerdo a Gómez-Pompa y Dirzo (1995) la transformación del ecosistema se ve afectado por asentamientos humanos dentro de la RBAT en la zona de influencia.

Uso de suelo

La clasificación por tipo de suelo de acuerdo a Mesomaya-CONANP (2010-2017), se realizó de manera sencilla, de acuerdo al mapa base, con la clasificación y apreciación por tipo de uso de suelo: área agrícola, área impactada por incendios, pastizal inducido y zona urbana.

Comparación de CVyUS

Al realizar la comparación de la clasificación de CVyUS, realizada por el presente estudio con base a Mesomaya-CONANP (2010-2017) y de acuerdo a Gómez-Pompa y Dirzo (1995), se registraron concordancias en sólo dos de seis clases de cobertura vegetal: selva baja caducifolia y selva baja caducifolia con vegetación secundaria; sin embargo, no se registra evidencia de la presencia del resto de la cobertura vegetal anteriormente identificada en el área de estudio (Cuadro 12).

El tipo de uso de suelo reportado en el presente estudio es diverso, debido a la acción de los asentamientos humanos dentro y alrededor de la zona, fueron los siguientes: área agrícola, área impactada por incendios, pastizal inducido y zona urbana, lo que difiere de la clasificación Sánchez-Ramos *et al.* (1993); Gómez-Pompa y Dirzo (1995), en la que se establece como principales formas de uso de suelo: la ganadería, uso de suelo agrícola y uso de suelo para otro tipo de actividades.

Cuadro 12. Comparativo de clasificación de cobertura vegetal de la RBAT.

Tipo de Cobertura Vegetal	CONABIO (1995), Gómez-Pompa y Dirzo (1995)	Mesomaya- CONANP- actualización (2010-2017)
<i>Selva baja subperennifolia</i>	X	
<i>Selva baja subperennifolia con vegetación secundaria</i>	X	
<i>Selva mediana subperennifolia</i>	X	
<i>Selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria</i>	X	
<i>Selva baja caducifolia</i>	X	X
<i>Selva baja caducifolia con vegetación secundaria</i>	X	X
<i>Selva baja caducifolia con presencia de vegetación secundaria tipo palmar</i>	X	
<i>Selva baja caducifolia con presencia de encinar tropical</i>	X	
<i>Selva mediana subcaducifolia</i>		X
<i>Selva mediana subcaducifolia con vegetación secundaria</i>		X

Fuente: CONABIO (1995); Gómez-Pompa y Dirzo (1995); Mesomaya-CONANP actualización (2010-2017).

Nota: X= presencia.

Es probable que las diferencias de la clasificación CVyUS actuales con respecto a las iniciales hayan resultado modificadas debido al uso intensivo y explotación de los recursos naturales, con ello se obtiene una modificación del uso de suelo y por consiguiente de la cobertura vegetal, haciendo presente la vegetación secundaria como una respuesta de perturbaciones ecológicas humanas, ya que, desde que se decretó la RBAT en el año 1994 queda acentuado que dentro de la misma se localizarán asentamientos humanos, con ello la demanda y aumento de la necesidad del uso de los recursos naturales, influenciando la transformación del paisaje y por ende los ecosistemas. Cabe señalar que el uso de suelo únicamente puede tener un aprovechamiento en la zona de influencia, de acuerdo al Plan de Manejo de la RBAT, afirma SEMARNAT-CONANP (2014).

Al ser una cartografía reciente propuesta por Mesomaya-CONANP (2010-2017), es de fácil identificación la CVyUS así como su confirmación en campo, es por ello necesario la generación de mapas, afirma INEGI (2017); Spurr (1948), la toma de fotografías aéreas en campo a fin de realizar inventarios forestales es imprescindible, ya que, se obtiene la

representación fiel del terreno en el momento de la exposición, por lo que la actualización y corroboración juegan un papel importante.

6.4 Estimación de Superficie y Porcentaje de CVyUS en el Área de Estudio

Afirman Gómez-Pompa y Dirzo (1995) que, la superficie de cobertura vegetal así como el porcentaje presente de la RBAT, es el resultado directo de factores abióticos influyendo en su distribución.

Afirma Rzedowski (2006) que, el clima es el factor que tiene mayor influencia para la distribución de la vegetación, de acuerdo a Arriaga *et al.* (2012), dentro del área se presenta una marcada estacionalidad climática, favoreciendo la presencia del clima cálido subhúmedo con dos variantes: clima Aw_1 (x') cálido subhúmedo abarcando el 2% del territorio y clima Aw_2 cálido subhúmedo, que comprende el 98% del territorio, no obstante a pesar de que los promedios de temperatura mínima (18°C) y temperatura máxima (22°C) se reportan semejantes, se tiene una marcada diferencia, influenciada por la cantidad de humedad, obteniendo que el clima Aw_2 posee mayor humedad a comparación de Aw_1 que presenta una humedad media. Adicionalmente se encuentra asociado el gradiente altitudinal y de acuerdo a Gómez-Pompa y Dirzo (1995) se reporta que va desde 250 msnm hasta 800 msnm., con una altura relativa de 500-650 msnm., como resultado de ello, se tiene una mayor abundancia la clase de cobertura vegetal de selva baja caducifolia abarcando 19,106 ha que representa el 89% del total del área de estudio, de acuerdo a Gómez-Pompa y Dirzo (1995) se encuentra presente desde una altura de: 300 msnm hasta 700 msnm, de manera contraria la selva mediana subcaducifolia presenta una menor extensión de 1,659 ha que representa el 7.73% del total del área de estudio, debido a que su gradiente altitudinal es menor, que va desde los 650 a 700 msnm., como resultado abarca menor superficie y porcentaje del área de estudio.

Debido a ello, se puede afirmar que, en el presente estudio el principal factor limitante para la distribución de la cobertura vegetal, es el gradiente altitudinal y resultando con un tipo de vegetación diferente, junto con una marcada estacionalidad climática en relación al grado de humedad señala UNAM (2013), caracterizada por una época de lluvias en un periodo de junio a septiembre y con presencia de follaje en las especies vegetales, siendo la época de reproducción de especies de plantas y animales en contraste con la época de

secas que va en un periodo de octubre a mayo y la mayor parte de las especies vegetales pierden sus hojas, muchas plantas florecen, producen frutos y semillas; por lo que existe una mayor afinidad de las condiciones del medio hacia la cobertura vegetal de selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia, ya que este tipo de vegetación se encuentra bien adaptada a los cambios estacionales de acuerdo a UNAM (2013); adicional a ello se reporta para cada cobertura vegetal presencia de vegetación secundaria. De acuerdo con Gómez-Pompa y Dirzo (1995) se señala que, es un indicador de perturbaciones en el ecosistema realizado de manera antropogénica, además de causas naturales como incendios naturales, caída de árboles por fuertes vientos, extracción selectiva de árboles, actividad agropecuaria, entre otros afirman Gómez-Pompa y Vázquez-Yanes (1985) en Zamora-Crescencio *et al.* (2001). Dicha cobertura se corrobora en el mapa base de Mesomaya-CONANP (2010-2017), pudiéndose apreciar que, en los puntos de muestreo se tiene una cercanía con la frontera agrícola, causada por la modificación y cambio de uso de suelo; sin embargo, la cobertura vegetal de selva baja caducifolia con vegetación secundaria y selva mediana subcaducifolia con vegetación secundaria, poseen los valores mínimos en cuanto a superficie y porcentaje ocupada por cobertura vegetal dentro del área de estudio abarcando: 355 ha con un 1.65% y 114 ha con un 0.53% respectivamente, en comparación con el total del área de muestreo.

La extensión y porcentaje del uso de suelo posee los valores más bajos con un total de 233.001 ha y 1.085%, a comparación del total de la zona de estudio que abarca una superficie forestal de 21,234 ha y 98.92%.

El uso de suelo es localizado en la zona de influencia, que a su vez, incluye la zona urbana con 1 ha y 0.005%, sin embargo, aunque el impacto realizado sea mínimo se tiene una modificación al paisaje, que se aprecia en el mapa generado por Mesomaya-CONANP (2010-2017), adicional a esto, el área con mayor impacto ecosistémicos corresponde al área agrícola con 228 ha y 1.06%, siendo su principal cultivo el maíz, reporta Mballa *et al.* (2011). A su vez el área es influenciada e impactada por incendios con 2.8 ha y un 0.01%, por la aplicación de técnicas como: roza-tumba-quema; obteniendo una modificación del paisaje al retirar la cobertura forestal, lo que conlleva a una fractura en el ecosistema y provoca el desarrollo del estrato herbáceo en respuesta a la perturbación realizada, aunado a la presencia del pastizal inducido utilizado como alimento para ganado, con una extensión de 0.5 ha y 0.002%.

Por lo que es de gran importancia conocer el tipo de CVyUS, así como la superficie (ha) y porcentaje (%) que comprenden, para la realización de estudios aplicados en el cuidado y conservación del medio.

6.5 Sitios de Muestreo en la RBAT

Como propuesta inicial para realizar el estudio se sugieren nueve puntos a muestrear, sin embargo, debido a falta de financiamiento se acudió a siete sitios a muestrear, y se realizó una extrapolación de datos.

Se establecieron las coordenadas en el sistema UTM (Universal Transverse Mercator), en los puntos de muestreo para fijar la línea base, debido a que es un sistema muy preciso de designación cartesiana de un punto, con la particularidad de que expresa las distancias métricas respecto a una cuadrícula establecida, de acuerdo con Melando *et al.* (2002). Pese a haberse utilizado el mismo sistema de coordenadas, se registraron inconsistencias respecto a la clasificación de Mesomaya-CONANP (2010-2017) que corresponde a la leyenda de tipo de cobertura vegetal y uso de suelo; es decir la cobertura clasificada no se encontraba en las coordenadas señaladas, de modo que se sugiere realizar una cartografía nueva detallada.

6.6 Diseño de Muestreo Aplicado en el Área de Estudio

El método de muestreo en campo es realizado con base a los estudios de Ordóñez (2008b), que realiza una compilación de diferentes autores, obteniendo un método apropiado para la estimación de contenido de carbono de la cobertura vegetal y extrapolación de datos.

La estimación se realiza por clase de cobertura vegetal, manteniendo la relación del 30% de muestreo respecto a una ha, y compensando la pendiente. En el muestreo anidado se valoran los puntos a muestrear y cada uno conteniendo tres estimaciones con círculos de 1,000m², jerárquico-estratificado debido a que, está encaminado a obtener las jerarquías del árbol siendo de interés particular el estrato fustal, con distribución sistemática o al azar ya que, pueden ocurrir cambios como perturbaciones dentro del área muestreada de manera azarosa, a pesar de ello se mantienen las proporciones permitiendo obtener un inventario forestal y el establecimiento de la hectárea tipo precisando contenidos de carbono. Adicionalmente se extrapolaron los resultados obtenidos apegándose a una variable que es el diámetro del árbol fustal, siendo un sistema replicable.

En conjunto con la participación de las comunidades dentro del predio, se propone llevar a cabo la conservación del área, y así mismo de los servicios ecosistémicos generados, a su vez buscar un beneficio económico derivado de la conservación de los mismos.

6.7 Análisis Comparativo de la Captura Potencial de CO₂, por tipo de Cobertura Vegetal en el Área de Estudio

Se realizó un análisis por clase de cobertura vegetal de los contenidos de la cantidad de carbono almacenado y el potencial de captura de carbono de CO₂ en la RBAT, resultando con diferencias significativas en los estados de sucesión, así como en las diferentes densidades del arbolado y condiciones de crecimiento de biomasa dentro de las propias coberturas, asociados a la vegetación secundaria y a la tenencia de la tierra.

La vegetación que presenta una mayor captura potencial de carbono equivalente por año corresponde a la selva baja caducifolia con 86,548.63 MgCO₂e año⁻¹; sin embargo, reporta un valor intermedio de carbono almacenado con 82.29 MgC ha⁻¹, a comparación del resto de las coberturas vegetales, así mismo muestra una captura potencial de carbono de 1.24 MgC ha⁻¹año⁻¹ y captura potencial de carbono equivalente por hectárea de 4.53 MgCO₂e ha⁻¹año⁻¹.

De manera contraria, la cobertura vegetal que presenta el valor mínimo de captura potencial de carbono equivalente por año es la selva baja caducifolia con presencia de vegetación secundaria, con 886.93 MgCO₂e año⁻¹, misma que posee el menor valor de cantidad de carbono almacenado con 45.60 MgC ha⁻¹, en comparación con el resto de las coberturas vegetales; presenta una captura potencial de carbono de 0.68 MgC ha⁻¹año⁻¹ y una captura potencial de carbono equivalente por hectárea de 2.50 MgCO₂ e ha⁻¹año⁻¹. Esto es debido, a que al abarcar la menor extensión del área de estudio y tratarse de sitios con manejo reciente en estado sucesional en condiciones arbustivas por extracción de madera en años anteriores, propicia un mayor desarrollo del estrato herbáceo y resulta con una menor captura y almacén de carbono.

La vegetación con un valor intermedio de captura potencial de carbono equivalente por año corresponde a la selva mediana subcaducifolia con 14,601.63 MgCO₂e año⁻¹, debido a una extensión media abarcada; sin embargo, presenta los valores más elevados de carbono almacenado con 120.00 MgC ha⁻¹, a comparación del resto de las coberturas

vegetales, mientras que la captura potencial de carbono es de 2.40 MgC ha⁻¹año⁻¹ y la captura potencial de carbono equivalente por hectárea de 8.80 MgCO₂e ha⁻¹año⁻¹. Esto responde a que dicha cobertura vegetal tiene una mayor altura de entre 15 a 30 m y mayor fuste de los árboles, además de que la pérdida de follaje va de entre 50% y 75% en comparación con la selva baja caducifolia.

En el Cuadro 13 se puede apreciar una comparación del carbono contenido en diferentes coberturas vegetales; cabe señalar que, en la selva mediana subcaducifolia con vegetación secundaria no se realizó estimación alguna, debido a que la superficie no es representativa en la RBAT.

Cuadro 13. Comparativo del carbono almacenado por hectárea en otras coberturas vegetales (MgC ha⁻¹).

Autor	Tipo de cobertura	MgC ha⁻¹
Ordóñez, 1999	Bosque de coníferas	63
Masera <i>et al.</i> 2001	Bosque de coníferas	118
Velarde y Navia, 2002	Bosque de coníferas	79
Zamora, 2003	Bosque de coníferas	84
Fragoso, 2003	Bosque de coníferas	69
Ordóñez <i>et al.</i> 2008	Agricultura	0.5
Ordóñez <i>et al.</i> 2008	Pastizales	0.3
Ordóñez <i>et al.</i> 2008	Matorrales	35.3
Este estudio	Selva mediana subcaducifolia	120
Este estudio	Selva baja caducifolia con vegetación secundaria	45
Este estudio	Selva baja caducifolia	82

Fuente: Compendio de diferentes autores

Los datos obtenidos se encuentran directamente influenciados por el manejo y actividades que los propietarios desarrollan, ya que afectan los almacenes de carbono y la captura potencial en su predio, además, repercuten en otros tipos de cobertura vegetal y uso de suelo, lo que conduce a la pérdida de biomasa, particularmente en aquellos sitios con ganado o bien, donde se promueve el cambio de cobertura vegetal por cualquier otro uso de suelo.

6.8 Valoración Económica del Servicio Ambiental-Captura de Carbono

La valoración económica-ambiental de captura de carbono, realizado en la cobertura vegetal de la RBAT, de acuerdo con Maass (2009) “se encuentra relacionada con funciones de regulación ambiental”; asimismo FAO y OAPN (2009) indican que “se regula la calidad del aire y de los gases presentes, además de la composición química de la atmósfera, captación de carbono y protección de la radiación UV”; por lo que, se propone como una alternativa económica hacia la población a partir del cuidado y uso adecuado de los recursos forestales, con ello logrando una conservación de la cobertura vegetal y por consiguiente del ecosistema, así contribuyendo a la reducción de las emisiones del principal gas de efecto invernadero CO₂, mitigando su potencial impacto al ambiente.

A partir de los datos obtenidos de captura potencial de CO₂e y cobertura vegetal, se estimó el costo potencial de la captura de carbono como pago por servicio ambiental tomando como base la moneda dólar para cuatro tipos de mercado. Cabe señalar que en México no se cuenta con un valor tasado para la venta del servicio ambiental de captura de carbono; por lo que se realizó una comparación monetaria, y se consideró que dicho valor no sea devaluado, por lo que se otorgan distintos valores cotejados en dólares a cada mercado.

La venta del servicio ambiental de captura de carbono se tasaba hasta hace algunos años en un valor por tonelada capturada y almacenada. En el mercado nacional estaba cotizado en 10 USD, seguido el mercado europeo con 6.15 USD y subsecuentemente en el mercado americano con un promedio de 6.8 USD, finalizando con el mercado internacional en 0.87 USD. CONAFOR (2013) señala que es de gran importancia el esquema de pago por servicios ambientales, ya que al ser gratuitos para las personas que disfrutan de ellos, no lo es para los dueños y poseedores de terrenos forestales que los poseen; por lo tanto, se ve disgregado su valor ecosistémico.

En el presente estudio se integra a la comunidad como parte fundamental de un desarrollo sustentable de la región, y se incluyen dentro del pago por servicio ambiental, permitiendo dar una percepción del potencial económico que se pueda obtener de dicho servicio, haciendo notar que no se toman en cuenta otros importantes como la

conservación de la biodiversidad, la recarga de acuíferos, la protección de la biodiversidad, la retención de suelo, el refugio de fauna silvestre y la belleza escénica.

6.9 Importancia Ecológica de la RBAT

Es importante llevar a cabo la conservación de la RBAT, según Lara (2008) además de poseer una extensión de 21 mil 464 hectáreas, constituye un factor valioso para las condiciones climáticas regionales, y, como señala Vargas (2010), actúa como una barrera meteorológica entre la llanura costera del Golfo y el Altiplano, situándose en los límites de la región biogeográfica Neártica y Neotropical. Gómez-Pompa y Dirzo (1995) afirman que las selvas medianas y selvas bajas caducifolias constituyen el límite para los ecosistemas en el continente americano; así mismo las poblaciones de las especies de origen tropical constituyen ecotipos con un gran valor evolutivo, adaptados a temperaturas invernales, señala Vargas (2010) que, debido a ello se explica su extraordinaria biodiversidad, y en consecuencia poseen ecosistemas únicos los cuales albergan una gran diversidad de especies animales y vegetales, dando lugar a un gran valor biológico con afinidades neárticas y neotropicales.

De acuerdo a CONANP (1994), la RBAT posee ecosistemas únicos, dentro de los que se cuenta a la flora y la fauna silvestre endémicas, amenazadas y en peligro de extinción, como la palmilla, el jaguar, el tigrillo y el ocelote; así mismo los procesos de formación permiten contar con un gran número de fósiles, además de ser importante para la captación de los mantos freáticos y fuentes de manantiales de la región.

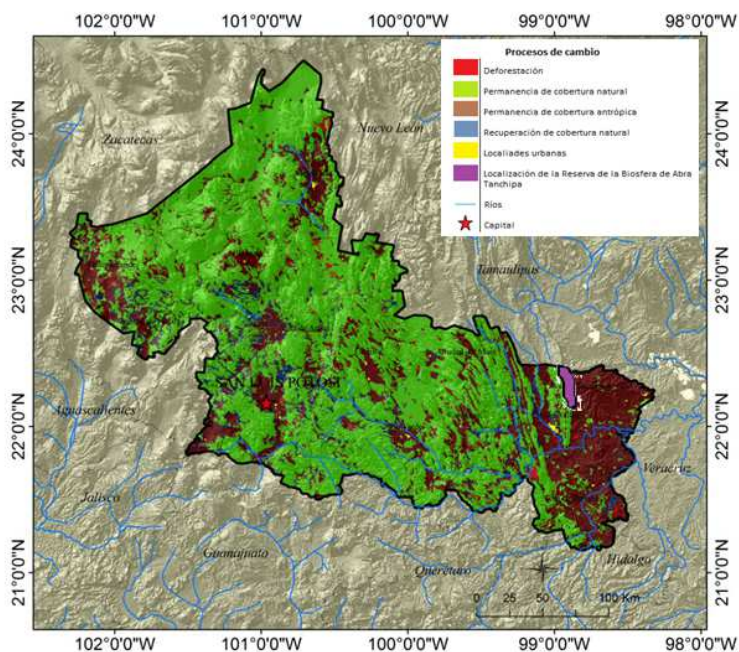
Es indispensable señalar que la RBAT actúa con sumidero de carbono, que tiene como objeto entre muchos otros mitigar el impacto de la contaminación emitida a la atmósfera. De acuerdo a Ordóñez (1998; 1999), cabe destacar que el presente estudio es de los primeros en dar inicio a la propuesta de alternativas económicas-sustentables y amigables con el ambiente; valorando la presencia de los sumideros de carbono, término adoptado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 1992, y de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas (1992), que se retoma por IPCC (2007a) como actividad o mecanismo que detrae de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol, o alguno de sus precursores.

En México los sumideros de carbono juegan un papel trascendente para mitigar el cambio climático, ofreciendo múltiples servicios ambientales, que permiten tener ciclos e interacciones propias de la Tierra como el ciclo de carbono.

6.10 Perturbaciones dentro de la RBAT

En el área de estudio se observaron perturbaciones al medio como respuesta a la modificación de CVyUS. Señala Magaña y Gómez (2011) ejemplo de ello es la disminución del número de nevadas que conlleva a una constante disminución de la recarga acuífera por deshielo, además de la creciente desertificación, que contribuye a la pérdida de hábitat y a la modificación del paisaje escénico. Adicionalmente, la presencia de precipitaciones extremas de la región ha propiciado la disminución de la calidad de agua, además de afectar a la vegetación propia de la región.

De acuerdo a Farfán *et al.* (en revisión), los procesos de cambio de uso de suelo (Figura 24) como la deforestación, permanencia de cobertura antrópica y localidades urbanas, afectan al estado de San Luis Potosí, en el que se asienta la RBAT, y por lo tanto al presente estudio.



Fuente: Modificado de Farfán, *et al.* en revisión.

Figura 24. Área de distribución potencial de especies y su superposición con los principales procesos de cambio en las coberturas vegetales de San Luis Potosí, en el periodo 2002 a 2007.

De acuerdo a Sánchez-Ramos *et al.* (1993), el efecto de las quemas no controladas con fines agrícolas, ganaderos y pecuarios se considera una amenaza potencial, y en gran parte a que la explotación forestal no es económicamente relevante, pues la talla y forma de los árboles característicos conformado por selvas bajas caducifolias, no son atractivos para el comercio. Sin embargo, a nivel local por falta de materiales y de mejor calidad, se utiliza la madera de muchas especies para la construcción, fabricación de objetos artesanales, muebles, combustible y otros diversos propósitos; aunado al saqueo arqueológico.

De acuerdo a Gómez-Pompa y Dirzo (1995), como una respuesta del medio hacia el disturbio ecológico, se ha registrado la presencia de vegetación secundaria, esto a causa de explosiones en la búsqueda de yacimientos petroleros, la demanda de madera por parte de industrias de la zona, el aumento de la tala, las actividades industriales de las cementera en zonas aledañas, el cambio en el uso del suelo para la ganadería extensiva, así como introducción de especies vegetales exóticas (*Eucalyptus* sp.) con fines de reforestación por parte de las industrias forestales de la zona. Adicional a ello, de acuerdo a Vargas (2010) la cacería furtiva se sigue llevando a cabo ocasionando fragmentación y ruptura de ecosistemas con severas afectaciones del sitio y sus recursos naturales.

Aunado a lo anterior, los estudios de actualización de datos están rezagados, ya que, en contexto social se reporta aumento de inseguridad en el sitio, afirma Aristegui, (2012); Peschard, (2015), derivado de procesos políticos internos, crimen organizado y narcotráfico, con ello mermando e impidiendo la realización y aplicación de diversos estudios.

CONCLUSIONES

- Las clases de cobertura vegetal identificadas en la RBAT son: selva baja caducifolia, selva baja caducifolia con vegetación secundaria, selva mediana subcaducifolia y selva mediana subcaducifolia con vegetación secundaria, las clases de uso de suelo corresponden a: presencia y/o evidencia de pastizal inducido, áreas agrícolas, áreas impactadas por incendios, asentamientos humanos y cuerpo de agua.
- En la categoría de cobertura vegetal, la selva baja caducifolia presenta la mayor superficie de 19,106 ha con un 89% del área total de estudio. La selva baja caducifolia con vegetación secundaria, y la selva mediana subcaducifolia con vegetación secundaria, presentan la menor superficie y porcentaje del área con 354.77 ha correspondientes a 1.65% y 114.13 ha correspondientes a 0.53% respectivamente. La selva mediana subcaducifolia presenta una superficie de 1,659.28 ha con un 7.73% de área.
- En la categoría de uso de suelo, el suelo agrícola presenta la mayor superficie con 228 ha con un 1.06% del área total de estudio. El cuerpo de agua presenta la menor superficie con 0.001 ha equivalente a 0.005% del área. El área impactada por incendios presenta una superficie de 2.8 ha, la zona urbana de 1 ha y el pastizal inducido de 0.5 ha, correspondientes a 0.01%, 0.005% y 0.002% del área total de estudio respectivamente.
- La cobertura vegetal selva baja caducifolia, realiza la mayor captura potencial de carbono con 86,548.63 MgCO₂e año⁻¹. La menor captura potencial de carbono la realiza la selva baja caducifolia con vegetación secundaria con 886.93 MgCO₂e año⁻¹. La selva mediana subcaducifolia realiza una captura potencial de carbono de 14,601.63 MgCO₂e año⁻¹.
- La valoración económica del servicio ambiental captura carbono en la RBAT depende del mercado nacional, internacional, europeo y americano. Sin importar el precio base ni el año en el que se tasan los costos de los bonos por captura de carbono, la ganancia económica está directamente relacionada con el estado de conservación de la cobertura vegetal.

- El mercado que presenta la mayor valoración económica de captura potencial de dióxido de carbono equivalente por año por cobertura vegetal hasta el año 2016, es el mercado nacional tasado en 10 USD por $\text{MgCO}_2\text{e año}^{-1}$, con base a ello, la RBAT se valora con un total de **1'020,371.97 USD**.
- El diseño de muestreo aplicado permite precisar los contenidos de carbono en la hectárea tipo para cada cobertura vegetal y uso del suelo analizado; además de ser un sistema replicable y estar encaminado a la conservación del sitio.

RECOMENDACIONES

- La elaboración de cartografía fina con mayor precisión, donde se registren las diferentes coberturas vegetales actuales, para determinar el contenido y captura potencial de carbono.
- Incrementar el tamaño de muestra, establecer áreas de monitoreo permanente, estudiar y analizar las variables críticas, así como, conformar acuerdos e instrumentos legales para poder cumplir con los estándares internacionales y con ello comercializar el esquema de pago por servicios ambientales; no dejando de lado e involucrar a las comunidades propias del área que se pueden beneficiar.
- Explorar a mayor profundidad el potencial de la RBAT, sin embargo, a causa de la inseguridad en el sitio se tiene ausencia de profesionistas en el tema, y con ello la carencia de estudios realizados.

REFERENCIAS

- Acciona. 2017. Sostenibilidad para todos. ¿En qué consiste el mercado de carbono? Acciona. [Consultado: 23/02/2017]. Formato html. Disponible en Internet: <http://www.sostenibilidad.com/en-que-consiste-el-mercado-de-carbono>
- Aguado B, O. 2010. Distribución potencial de los bosques templados de Coahuila bajo los escenarios A2 y B2 generados por ECHAM5 y HADGEM. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de México (UNAM), Ciudad de México. 76 p.
- Alvarado Z, A. 2007. Conocer para conservar, animales mexicanos en peligro de extinción. Primera edición, Uribe y Ferrari editores. Ciudad de México. 92 p.
- Amestoy A., J. 2010. El planeta en peligro: Calentamiento global, cambio climático, soluciones. Club Universitario. España. 374 p.
- Aristegui, C. 2012. Asesinatos en San Luís Potosí: matan a representantes del PRI, PAN y PRD. México. MVS. [Consultado: 22/07/2013]. Formato html. Disponible en Internet: <http://aristeguinoticias.com/1712/mexico/asesinatos-en-slp-matan-a-representantes-del-pri-pan-y-prd/>
- Arriaga, L., J. M. Espinoza., C. Aguilar., E. Martínez., L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2012. Regiones Terrestres Prioritarias de México. Listado de regiones terrestres prioritarias Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México. [Consultado: 31/08/2016]. Formato PDF. Disponible en Internet: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tlistado.html>
- Australian Government. 2006. Bureau of Meteorology Australia Images from "The greenhouse effect and climate change". Australian. [Consultation 10/03/2012]. Format html. Available on the Internet: <http://www.bom.gov.au/info/climate/change/gallery/>
- Aviña C, F. 2007. Estimación del Contenido de Carbono en el suelo de diferentes clases de cobertura en la Región Purépecha, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad de México. 87 p.
- Baena, A. y A. Pueyo. 2006. Competitividad y cambio climático. Nuevos retos para la industria española. Primera edición, Fundación EOI. España. 220 p.
- Bairoch, P. 1964. Revolución Industrial y subdesarrollo. Segunda edición, Siglo Veintiuno. Ciudad de México. 395 p.

- Barros, A. S y R. Ipinza. C. 2011. El Mercado del Carbono. En: Barros, A. S y R. Ipinza. C. 2011. El Cambio Climático, los Bosques y la Silvicultura. Primera edición, Instituto Forestal. 39-60 p. Disponible en Internet: https://www.researchgate.net/publication/256071365_EL_MERCADO_DEL_CARBONO
- Barros V. 2005. El cambio climático global. Segunda edición, Libros del zorzal. Argentina. 155 p.
- BioEnciclopedia. 2016. Ciclo del carbono, ciclos biogeoquímicos. BioEnciclopedia.com. [Consultado: 15/12/16]. Formato html. Disponible en Internet: <http://www.bioenciclopedia.com/ciclo-del-carbono/>
- Bueche, F. 2004. Ciencias físicas. Primera reimpresión. [Traducido al español]. Reverté. España. 415 p.
- Burstein, J., G. Chapela., J. Aguilar y E. De León. 2002. Informe sobre la propuesta de Pago de Servicios Ambientales en México. Proyecto Pago de Servicios Ambientales en las Américas. Fundación FORD "Pago por Servicios Ambientales en Las Américas". Ejecutor: Fundación PRISMA. San Salvador. El Salvador. 103 p.
- Cabezas, M. E., E. Arjona., A. M. Benedé. y J. M. Ramos. 2008. Diversificación del ámbito lingüístico y social. Segunda edición, S.A. Editex. Ciudad de México. 336 p.
- Calvo, M. F. J., A. López. C., L. Alonso. G., P. Ramos. C., I. Chico. De la F., I. Rodríguez., I. S Metcalfe., M^a del C. Iglesias. E., B. Salvachúa F., J. A. Álvaro. R., C. Romero. B., G. Sáez. De M., J. Herrero. P., M. Vázquez. M., M. Ballesteros P., J. Cuellar. A., F. Galán. G., A. Llanos. G., R. Manso. C., J. Anta. F y A. Carballera O. 2004. Energía y Medio Ambiente. Primera edición, Universidad de Salamanca. España. 431 p. Disponible en Internet: [https://books.google.com.mx/books?id=h_ujoW5p4v4C&pg=PA157&lpg=PA157&dq=se+establece+la+limitaci%C3%B3n+de+emisiones+netas+de+gases+de+efecto+invernadero+\(GEI\)+para+los+pa%C3%ADses+desarrollados+y+con+econom%C3%ADas+en+transici%C3%B3n&source=bl&ots=zS6hEKBzNP&sig=qPd5gGLDRoCZ6Ji23hf-UTHYcOQ&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjkgKKytPzRAhUEiLwKHVTtCUEQ6AEIGTAA#v=onepage&q=se%20establece%20la%20limitaci%C3%B3n%20de%20emisiones%20netas%20de%20gases%20de%20efecto%20invernadero%20\(GEI\)%20para%20los%20pa%C3%ADses%20desarrollados%20y%20con%20econom%C3%ADas%20en%20transici%C3%B3n&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=h_ujoW5p4v4C&pg=PA157&lpg=PA157&dq=se+establece+la+limitaci%C3%B3n+de+emisiones+netas+de+gases+de+efecto+invernadero+(GEI)+para+los+pa%C3%ADses+desarrollados+y+con+econom%C3%ADas+en+transici%C3%B3n&source=bl&ots=zS6hEKBzNP&sig=qPd5gGLDRoCZ6Ji23hf-UTHYcOQ&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjkgKKytPzRAhUEiLwKHVTtCUEQ6AEIGTAA#v=onepage&q=se%20establece%20la%20limitaci%C3%B3n%20de%20emisiones%20netas%20de%20gases%20de%20efecto%20invernadero%20(GEI)%20para%20los%20pa%C3%ADses%20desarrollados%20y%20con%20econom%C3%ADas%20en%20transici%C3%B3n&f=false)
- Carrillo, F. J. C y A. Velasco R. 2016. Estudio legal facultades y responsabilidades del manejo forestal y del suelo ante REDD+ en México. Centro para la Investigación Forestal (CIFOR). Bogor, Indonesia. 60 p. Disponible en Internet: <https://books.google.com.mx/books?id=U50iDAAQBAJ&pg=PA18&lpg=PA18&d>

q=pago+por+servicio+ambiental+de+captura+de+carbono+en+mexico+es+merca
do+regulado+o+mercado+voluntario&source=bl&ots=CFZX_sJmpq&sig=RKd-
nkYJW_1JOVJ6-rCLZKBtrh0&hl=es-
419&sa=X&ved=0ahUKEwi49L27oNzQAhUGIIQKHYYvDiEQ6AEIHDAB#v=onep
age&q=pago%20por%20servicio%20ambiental%20de%20captura%20de%20car
bono%20en%20mexico%20es%20mercado%20regulado%20o%20mercado%20v
oluntario&f=false

Castillo, F. E y F. Castellví. S. 2001. Agrometeorología. Segunda edición, Mundi-Prensa. Madrid, España. 517 p.

Climate Action Reserve. 2015. Introducción a Mercados de Carbono en México. México. [Consultado: 23/02/2017]. Formato PDF. Disponible en Internet: https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0ahUKEwi46ffK06XSAhWD5SYKHYO4CnEQFgg6MAU&url=http%3A%2F%2Fwww.climateactionreserve.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F12%2FClimate-Action-Reserve_Mexico-Carbon-Markets-Memo-SPANISH.pdf&usg=AFQjCNGcAqNVhu_aeCArmnXE4G43SRatSg

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 1994. Decreto por el que se declara como área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la región conocida como Sierra del Abra Tanchipa, ubicada en los municipios de Ciudad Valles y Tamuín, Estado de San Luis Potosí. CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). México. 9 p. [Consultado: 21/07/2016]. Formato PDF. Disponible en internet: <http://www.conanp.gob.mx/sig/decretos/reservas/Abratanchipa.pdf>

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2004. Evaluación del programa de pago de servicios ambientales por captura de carbono y los derivados de la biodiversidad y para fomentar el establecimiento y mejoramiento de sistemas agroforestales (PSA-CABSA) Reporte final. Comisión Nacional Forestal. México. 127 p.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2013. Servicios Ambientales. Comisión Nacional Forestal. México. [Consultado: 15/10/2013]. Formato html. Disponible en Internet: <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/servicios-ambientales>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1995. Atlas de Reservas de la Biosfera y otras áreas naturales protegidas. Instituto Nacional de Ecología (INE) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México. 314 p. [Consultado: 09/08/2012]. Formato PDF. Disponible en Internet: <http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/reservasBiosfera2.pdf>

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2013. Selvas Húmedas México. México. [Consultado: 17/06/2013]. Biodiversidad Mexicana Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Formato html. Disponible en Internet: <http://www.biodiversidad.gob.mx/index.html>
- Conde, C. 2007. México y el cambio climático global. Reimpresión, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ciudad de México. 28 p.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Organización de las Naciones Unidas (ONU), México. 50 p. México. [Consultado: 15/10/2013]. Formato PDF. Disponible en Internet: http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf
- Corona, A. E y C. Gamboa M. 2011. 17ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y 7ª Conferencia de las Partes actuando como reunión de las partes del Protocolo de Kyoto. Dirección general de documentación Información y análisis LXI Legislatura Cámara de Diputados. Ciudad de México. 33 p. [Consultado: 27/02/2013]. Formato PDF. Disponible en Internet: <http://www.diputados.gob.mx/sedia/sia/spe/SPE-CI-A-05-12.pdf>
- Costa J., M. 2005. Diccionario de química física. Díaz de Santos Ediciones. España. 887 p.
- Dismukes, G. C., V. V. Klimov, S. V. Baranov, Y. N. Kozlov, J. DasGupta y A. Tyryshkin. 2001. The origin of atmospheric oxygen on Earth: the innovation of oxygenic photosynthesis. PNAS 98 (5): 2170–2175.
- Domínguez H. 2004. Nuestra atmósfera. Lectorum. México. 79 p.
- Errazuriz, K. A. M., P. Cereceda T., J. I. González L., M. González L., M. Henríquez R y R. Rioseco H. 1998. Manual de Geografía de Chile. Tercera edición, Andrés Bello. Santiago Chile. 151 p.
- Esparza, R.; R. Reséndiz y A. Embriz. 2000. Catálogo de mapas, planos, croquis e ilustraciones históricas de Restituciones y Dotación de tierras y ampliación de ejidos del archivo general agrario. Primera edición, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. México 320 p.
- Farfán, M., G. Rodríguez, A. P. Cuervo-Robayo y T. Escalante. En revisión. Cambio de uso de suelo en: La biodiversidad en San Luis Potosí: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la biodiversidad. México.

- Figueroa, C. M. E., S. Redondo. G., M. T. Luque. P., F. Fernández. M., E. Mateos N., I. Vecino B., J. M. Castillo. Segura., A. E. Rubio. Casal., D. Miquel. M., T. Arenillas y L. M. Suárez-Inclán. 2007. Los sumideros Naturales de CO₂ una estrategia sostenible entre el cambio climático y el protocolo de Kyoto desde las perspectivas urbana y territorial. Secretaría de Publicaciones Universidad de Sevilla y Muñoz Moya Editores Extremeños. Primera edición, España. 221 p.
- Figueroa P, U. 2010. Organismos Internacionales: tomo 1: Teorías y sistemas universales. RIL. Santiago, Chile. 669 p.
- Finanzas Carbono. 2014. Plataforma sobre financiamiento climático para Latinoamérica y el Caribe. Conferencia de las partes (COP). [Consultado: 22/08/2016]. Formato html. Disponible en Internet: <http://finanzascarbono.org/financiamiento-climatico/canales-multilaterales-de-financiamiento/cmnucc/cop/>
- Finanzas Carbono. 2017. Plataforma sobre financiamiento climático para Latinoamérica y el Caribe. El mercado de carbono europeo (EU ETS). [Consultado: 22/02/2017]. Formato html. Disponible en Internet: <http://finanzascarbono.org/mercados/acerca/comercio-emisiones/ets/>
- Forest Carbon Portal. 2016. Tracking Terrestrial Carbon. Forest Trends Washington, DC. USA. [Consultation: 13/10/2016]. Format html. Available on the Internet: <http://www.forestcarbonportal.com/>
- Forest Trends. 2010. Aprendiendo sobre Pagos por Servicios Ambientales. Fundamentos para la elaboración de proyectos de carbono Forestal. Forest Trends. 54 p. [Consultado: 03/12/16]. Formato html. Disponible en Internet: http://www.katoombagroup.org/documents/events/event42/Aprendiendo_Final.pdf
- Fragoso L., P. I. 2003. Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio "Cerro Grande" municipio de Tancítaro Michoacán México. Tesis de Ingeniero Agrónomo Especialista en Bosques. Facultad de Agrobiología. Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. Michoacán, México. 77 p.
- Fuller, J. K. 2009. Instrumentación quirúrgica Teoría, técnicas y procesamientos. Cuarta edición, Editorial Medica Panamericana. Madrid España. 1083 p. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=yBwepEJsQZQC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Galeana P., J. M. 2008. Estimación del contenido y captura potencial de carbono, su valoración económica, en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, D.F. 95 p.
- García S., I. E. 2010. Estimación del contenido y captura potencial de carbono del bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. y *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. Et Cham en el Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México. Tesis de Licenciatura en

- Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad de México. 73 p.
- Garduño, R. 2003. El Veleidoso Clima. Tercera edición, Fondo De Cultura Económica. Ciudad de México. 169 p.
- Gay, C. 2000. México: una visión hacia el siglo XXI, el cambio climático en México. INE-UNAM-US. Country Studies Program.
- Gil, S. 2006. Física de la atmósfera. UNSAM (Universidad Nacional de General San Matón). Buenos Aires, Argentina. 6 p. [Consultado: 14/05/2013]. Formato PDF. Disponible en Internet: http://www.fisicarecreativa.com/papers_sg/papers_sgil/Docencia/Atmosfera_Terrestre.pdf
- Gobierno de España. 2016a .Halones. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR). España. [Consultado: 22/12/2016]. Formato html. Disponible en Internet: <http://www.prtr-es.es/Halones,15603,11,2007.html>
- Gobierno de España. 2016b. HCFC (Hidroclorofluorocarburos). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR). España. [Consultado: 22/12/2016]. Formato html. Disponible en Internet: <http://www.prtr-es.es/castellano/documentos/hcfc-hidroclorofluorocarburos,15601,11,2007.html>
- Gobierno de España. 2016c. PFC (Perfluorocarbonos). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR). España. [Consultado: 22/12/2016]. Formato html. Disponible en Internet: <http://www.prtr-es.es/PFC-perfluorocarburos,15596,11,2007.html>
- Gobierno Federal. 2009. Pago por servicios ambientales. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México. 18 p. [Consultado: 11/11/2016]. Formato html. Disponible en Internet: http://www.inecc.gob.mx/descargas/con_eco/2009_sem_ser_amb_pres_04_emartinez
- Gobierno Federal. 2010. Marco de Políticas de Adaptación de Mediano plazo. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). México. 55 p. [Consultado: 12/12/2016]. Formato html. Disponible en Internet: http://gia.imta.mx/geoportal/docs/Marco_Politiclas_Adaptacion_Mediano_Plazo.pdf
- Gómez-Pompa, A. y R. Dirzo.1995. Reservas de la biosfera y otras áreas naturales protegidas de México, Primera edición, Instituto Nacional de Ecología (INE), SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca) y

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México. 159 p.
- Google Earth. 2013. Google Earth. [Consultado: 10/05/2013]. Formato html. Disponible en Internet: <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- Greater London Authority. 2002. 50 Years on The struggle for air quality un London since the great smog of december 1952. Greater London Authority. USA. London. 40 p. [Consultation 21/07/2016]. Format PDF. Available on the Internet: http://web.archive.org/web/20091229055357/http://www.london.gov.uk/mayor/environment/air_quality/docs/50_years_on.pdf
- Gutiérrez R., E. 1985. Química. Reverté, S.A. Barcelona, España. 368 p.
- Guzmán H., M. 2010. La generación del Cambio Climático una aproximación desde el enfoque al caos. Segunda edición, Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia. 387 p.
- Homero, C. D. y J. Gasca. 2010. Los gases regulados por la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. En Martínez. J y Fernández A. (coord.). Cambio Climático una visión desde México. Primera edición, Instituto Nacional de Ecología. México 87-98 p.
- IEA. 1992. Estudio de declaratoria como Reserva Ecológica de la Sierra del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México. Instituto de Ecología y Alimentos, Universidad Autónoma de Tamaulipas. p 238. Disponible en: http://www.conanp.gob.mx/datos_abiertos/DGCD/119.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático (INECC). 2013. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 1990-2010, Primera edición, Coordinación del Programa de Cambio Climático e Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático (INECC). México. 412 p. Disponible en Internet: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegei_public_2010.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2016a. Efectos del Cambio climático. Para adaptarnos a un clima diferente necesitamos saber cómo está cambiando el clima a nivel global, regional y local. México. [Consultado: 10/08/2016]. Formato html. Disponible en Internet: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/efectos-del-cambio-climatico>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2016b. Gases y compuestos de efecto invernadero. Gob.mx. México. [Consultado: 22/12/2016]. Formato html. Disponible en Internet: <http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1985. Síntesis geográfica del estado de San Luís Potosí. Instituto Nacional de Estadística y Geografía

- (INEGI). México. 17 p. [Consultado: 11/08/2012]. Formato html. Disponible en Internet:
http://Internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825221317/702825221317_1.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geográfica (INEGI). 2015. Encuesta Intercensal 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geográfica (INEGI). México. [Consultado: 13/05/2017]. Formato html. Disponible en Internet:
<http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geográfica (INEGI). 2017. Imágenes del Territorio. México. Instituto Nacional de Estadística y Geográfica (INEGI). México. [Consultado: 13/05/2017]. Formato html. Disponible en Internet:
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/fotoaerea/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)-Instituto Nacional de Ecología (INE). 2008. Ecorregiones Terrestres de México. Escala 1:1000000. CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). México. [Consultado: 04/09/2013]. Formato html. Disponible en Internet:
http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/ecort08gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1997. Introducción a los Modelos Climáticos Simples Utilizados en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC. OMM (Organización Meteorológica Mundial) y PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 60 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001a. Tercer Informe de Evaluación Cambio climático 2001 Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables políticas y Resumen técnico. IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). 101 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001b. Informe de Síntesis. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). 27 p. [Consultado: 22/11/2016]. Formato PDF. Disponible en Internet:
<https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001c. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). [Consultado: 28/12/2016]. Formato PDF. Disponible en Internet: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpgaum_es.html
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. Japan. 590 p.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Directrices del IPCC del 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES). Francia. 18 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007a. 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. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Ginebra, Suiza. 104 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007b. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (eds.). Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller]. Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom and New York, NY, USA. 106 p. Available on the Internet: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007c. Fourth Assessment Report: Climate Change. Informe del Grupo de Trabajo I–Base de las Ciencias Físicas. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). [Consultado: 20/06/2016]. Formato html. Disponible en Internet: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/faq-1-3.html
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007d. Informe del Grupo de Trabajo I Base de las Ciencias Físicas. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). [Consultado: 15/06/2016]. Formato html. Disponible en Internet: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/tssts-2-5.html
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013a. Climate Change The Physical Science Basis WG I Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p. Available on the Internet: <http://www.ipcc.ch/report/graphics/index.php?t=Assessment%20Reports&r=AR5%20-%20WG1&f=Chapter%2002>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013b. Cambio climático 2013. Bases físicas. Grupo I de trabajo Resumen Para Responsabilidades políticas. Resumen técnico y preguntas frecuentes. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY. Estados Unidos de Norteamérica. 152 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013c. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on

Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014a. Base de ciencia física. Bern. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Suiza. 2 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014b. Anexo II: Glosario [Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.)]. En: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R. K. Pachauri y L. A. Meyer (eds.)]. IPCC. Ginebra, Suiza. 127-141 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014c. Cambio climático. Impactos, adaptación y vulnerabilidad Resumen para responsables de políticas. Contribución de los Grupos de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L. L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza, 34 p. Disponible en Internet: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2015. Cambio Climático Informe de Síntesis 2014. Primera edición, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC). Ginebra, Suiza. 157 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2016. Quinto Informe del IPCC: Cambio Climático. WMO y UNEP. [Consultado: 21/08/2016]. Formato html. Disponible en Internet: https://www.ipcc.ch/report/ar5/index_es.shtml

Isaza, D. J. F y D. Campos. R. 2007. Cambio Climático Glaciaciones y calentamiento global. Primera edición, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia. 293 p.

Jaramillo V. 2004. El ciclo global del Carbono. En Martínez. J y Fernández A. (coord). Cambio Climático una visión desde México. Primera edición, Instituto Nacional de Ecología. México 77-85 p. Disponible en Internet: http://www.rua.unam.mx/repo_rua/licenciatura_en_quimica/facultad_de_quimica/p_rimer_semestre/_5071.pdf

Jaramillo, V. J., J. Boone K., L. Rentería-Rodríguez., D. L. Cummings and L. Ellingson. 2003. Biomass, Carbon, and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes. *Ecosystems*. 6 (7): 609-629. October 2003.

- Kasting, J. F. y J. L. Siefert. 2002. Life and the Evolution of Earth's Atmosphere. *Science* 296: 1066–1068.
- Langner, A y T. Rosas. 2010. Cambio climático. México. *El Economista*. México. [Consultado: 15/01/2012]. Formato html. Disponible en Internet: <http://www.cambioclimatico.gob.mx/index.php/es/nacional/1120-mexico-los-proyectos-tras-la-cop16.html>
- Lara C, D. 2008. Punto de Acuerdo. Cámara de Diputados. Cámara de Diputados del honorable Congreso de la Unión. México. 1-2 p.
- Lincoln, R. J., G. A. Boxshall y P. F. Clark. 2009. Diccionario de Ecología, Evolución y Taxonomía. Segunda edición en español, Fondo de Cultura Económica. México. 673 p.
- Llebot J, E. 1999. El Cambio Climático. Cuadernos del Medio Ambiente. Rubes. Barcelona, España. 160 p.
- López L., V. M. 2009. Cambio climático y calentamiento global ciencia, evidencias, consecuencias y propuestas para enfrentarlos. Editorial Trillas. México. 237 p.
- Lucatello S. 2012. Los mercados voluntarios de carbono en Norteamérica y su gobernanza: ¿qué reglas aplican para el comercio internacional de emisiones en la región? *Scielo*. 7 (Número especial): 107-128. Enero. Disponible en Internet: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-35502012000300004
- Maass F, S. 2009. Estimación de la Captura de Carbono en Zonas Forestales. El Caso del Parque Nacional Nevado de Toluca. Primera edición, Universidad Nacional de México. Ciudad de México. 136 p.
- Magaña, R. V y L. Gómez. M. 2011. Escenarios regionales del cambio climático e impactos en áreas naturales protegidas: hacia una estrategia de adaptación. Editorial. México. 47 p.
- Martínez F, J. 2011. ABC del Cambio Climático: Impacto y Acciones en México. México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). [Consultado: 18/07/2011]. Formato PDF. Disponible en Internet: http://participacionsocial.sre.gob.mx/docs/incidencia_social_ambito_regional_multilmultil/agenda_internacional/agenda_y_temas_internacionales/cambio_climatico/prpresentacion/cc_julia_2.pdf
- Marrakech COP 22 CMP12. 2016. Climate change conference 2016. Sección de trabajo entre el comité directivo de la COP22 y el equipo de la secretaría de la CMNUCC. Marrakech COP 22 CMP12. [Consultado: 09/12/2016]. Formato html. Disponible en Internet: <http://cop22.ma/es/#actualites/las-naciones-llevan-adelante-las->

acciones-mundiales-por-el-clima-conferencia-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico-de-2016

- Masera, O. R., A. D. Cerón and A. Ordóñez. 2001. Forestry mitigation options for Mexico: finding synergies between national sustainable development priorities and global concerns. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 6: 291–312.
- Mballa, L. V., C. Carranza Álvarez y J.J. Maldonado-Miranda. 2011. Perspectivas de planificación para la conservación del área Sierra del Abra Tanchipa. *CONCYTEG*. (78): 1440-1455. Diciembre. Disponible en Internet: http://www.concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/78_6_MBALLA_ET_AL.pdf
- Medrano G, F. 2003. Las comunidades vegetales de México. Propuesta para clasificación y nomenclatura de la vegetación de México. Primera edición, INE-SEMARNAT (Instituto Nacional de Ecología-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). México. 81 p.
- Melando S, J. A., N. Arbonés C., L. Cancer. P., P. Maza. R y F. Lampre. V. 2002. Manual de técnicas de montaña e interpretación de la naturaleza. Primera edición, Editorial Barcelona. España. 313 p.
- Mendoza R, J. A., M. T. Montañés. S y A. E. Palomares. G. 1998. Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de Publicaciones. Valencia, España. 242 p.
- Mesomaya A.C.-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2010. Informe Final Análisis del cambio de uso del suelo y vegetación en seis Áreas Naturales Protegidas: (Laguna Madre; Marismas Nacionales, Zicuirán-Infiernillo; Abra Tanchipa, Xilitla y Sierra Madre Oriental), como base para el monitoreo biológico y captura de CO₂. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). México. 197 p. Disponible en Internet: http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/TTH/LMadre_Marismas_Zicuiran_Atanchipa/LMadre_Marismas_Zicuiran_ATanchipa_TTH.pdf
- Mesomaya A.C.-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2017. Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo modificado para este estudio.
- México CO₂. 2016. Plataforma Mexicana de Carbono. Medio ambiente. Mercado de carbono. México CO₂ Plataforma Mexicana de Carbono. México. [Consultado: 23/02/2017]. Formato html. Disponible en Internet: <http://www.mexico2.com.mx/medio-ambiente.php?id=14>
- Miranda, F y E. Hernández. X. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. (29): 1-179 1969. Disponible en Internet: <https://es.scribd.com/doc/208224437/Miranda-y-Hernandez-X-1963-BSBM28-29-176-Sobretiro-e>

- Moreno, S., A. R y J. Urbina S. 2008. Impactos sociales del cambio climático en México. Primera edición, INE-SEMARNAT-PNUD (Instituto Nacional de Ecología y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y Programa de las Naciones Unidas). México. 73 p.
- Morrone J. J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. México. *Rev. Mex. Biodiv. México*. 76 (2): 207-252. [Consultado: 25/06/2013]. Formato html. Disponible en Internet: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S187034532005000200006&lng=es&nrm=iso
- Nelson, D. L y M. M. Cox. 2005. Lehninger Principios de Bioquímica. Cuarta edición, Omega. España. 1119 p.
- Nuestro México. 2011. México. Nuestro México. México. [Consultado: 13/05/2017]. Formato html. Disponible en Internet: <http://www.nuestro-mexico.com/terminos.php>
- Ordóñez D, J. A. B. 1998. Estimación de la Captura de Carbono en un Estudio de Caso para Bosque Templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura. en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ciudad de México. 61 p.
- Ordóñez, D. J. A. B., O. Maser y V. Jaramillo. 1998. Estimación del contenido de carbono en la biomasa aérea, mantillo, suelos y raíces de los bosques de mesa y de pino-encino en El Carricito, en la Sierra Madre Occidental. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Morelia, México. 13 p.
- Ordóñez D, J. A. B. 1999. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. Primera edición, INE-SEMARNAP (Instituto Nacional de Ecología). México. 72 p.
- Ordóñez, G. S., E. Díaz. F y P. Orviz I. 2007. Desafíos Tecnológicos de la nueva normativa sobre Medio Ambiente Industrial. Ediciones de la Universidad Oviedo. España. 505 p.
- Ordóñez D, J. A. B. 2008a. Como entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago por servicios ambientales. *Rev. Ciencias*. (90): 37-42. Junio 2008. Disponible en Internet: <http://www.redalyc.org/pdf/644/64411395006.pdf>
- Ordóñez D, J. A. B. 2008b. Emisiones y captura de carbono derivadas de la dinámica de cambio en el uso del suelo en los bosques de la Región Purépecha Capítulo I. Los ecosistemas forestales y el cambio climático en México. Tesis de doctorado en Ciencias Biomédicas. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México. 140 p.

- Ordóñez, J. A. B., B. H. J. de Jong., F. García-Oliva., F.L. Aviña., J.V. Pérez., G. Guerrero., R. Martínez and O. Maser. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management*: 255: 2074–2084. April 2008.
- Ordóñez, D. J. A. B., A. Galicia. N., N. J. Venegas. M., T. Hernández. T., M. de J. Ordóñez. D y R. Dávalos-Sotelo. 2015. Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera y Bosques*. 21 (especial): 77-126 2015.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 1996. Ecología y enseñanza rural. Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. Estudio FAO montes. 187 p. [Consultado: 02/09/2013]. Formato PDF. Disponible en Internet: <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s07.htm>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Organismo Autónomo Parques Nacionales (OAPN). 2009. Fortalecimiento del Manejo Sostenible de los Recursos Naturales en las Áreas Protegidas de América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).136 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2010. Capítulo 2 Mercados de Carbono qué tipos existen y cómo funcionan. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 1-7 p. [Consultado: 15/09/2013]. Formato PDF. Disponible en Internet: <http://www.fao.org/docrep/012/i1632s/i1632s02.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Organismo Autónomo Parques Nacionales (OAPN). 2009. Pago por Servicios ambientales en América Latina, Fortalecimiento del Manejo Sostenible de los Recursos Naturales en las Áreas Protegidas de América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 136 p.
- Otero, A. S y M. Mata. De G. M. 2005. La llamada revolución industrial. Primera edición, Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela. 417 p.
- Peschard J. 2015. Tranquilizador o negador. Noticia Opinión-Universal. México. [Consultado: 24/01/2017]. Formato html. Disponible en Internet: <http://www.eluniversalmas.com.mx/editoriales/2015/05/76437.php>
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial. Ciudad de México, México. 78 p. [Consultado: 26/07/2017]. Formato PDF.

Disponible en Internet:
http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2012. Documento informativo segundo periodo de compromiso del Protocolo de Kioto (KP2). SEAN-CC. [Traducción por PNUMA-REGATTA]. [Consultado: 03/09/2013]. Formato PDF. Disponible en Internet: www.cambioclimatico-regatta.org/.../negociaciones-cmnucc?

Reuters. 2017. Calculadora de Divisas. México. [Consultado: 10/08/2017]. Formato html. Disponible en Internet:
<http://mx.reuters.com/?srcAmt=1.00&srcCurr=USD&destAmt=&destCurr=MXN>

Rügnitz T, M. 2010. Aprendiendo sobre Pagos por Servicios Ambientales. Fundamentos para la elaboración de proyectos de carbono forestal. Forest Trends. Washington, DC. Estados Unidos de Norteamérica. 61 p. Disponible en Internet:
http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_2430.pdf

Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. Primera edición, Limusa. México.

Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. Primera edición Digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 382 p. [Consultado: 01/07/2013]. Formato PDF. Disponible en Internet:
http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf

Sánchez-Ramos, G., L. Hernández. S., A. Mora. O., J. Vargas-Contreras., M. Lara. V., C. Zamora. T. y A. Cardona. E. 1993. Sierra del Abra Tanchipa. Estudio de caso. En: Gómez-Pompa. A., R. Dirzo., A. Kaus y C. R. Noguérón C. (comps.) Proyecto de evaluación de áreas naturales protegidas de México. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). México. 295 p.

Santiago, J y S, Rodríguez. 2017. Se formalizará mercado de bonos de carbono. El Economista. México. [Consultado: 07/06/2017]. Formato html. Disponible en Internet:
<http://eleconomista.com.mx/mercados-estadisticas/2017/06/05/se-formalizara-mercado-bonos-carbono>

Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). 2010. Catálogo de Localidades. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). México. [Consultado: 13/05/2017]. Formato html. Disponible en Internet:
<http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?ent=24&mun=013>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2003. Áreas Naturales protegidas de México con decretos Federales. Primera reimpresión, Instituto Nacional de Ecología. México. D.F. 828 p.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2012. México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Primera edición, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). México. 544 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2014. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera del Abra Tanchipa. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México. 206 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2015. Acuerdo que establece los gases o compuestos de efecto invernadero que se agrupan para efectos de reposteo de emisiones, así como sus potenciales de calentamiento. Diario Oficial de la Federación (DOF). México. 7 p. [Consultado: 11/11/2016]. Formato PDF. Disponible en Internet:
- Seoáñez C., M. 2000. Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos. Mundi prensa. España. 605 p.
- Sociedad Española de Ciencias Forestales (S.E.C.F). 2005. Diccionario Forestal. Primera edición, Mundi-Prensa. España. 1317 p.
- Spurr, S. H. 1948. Las reservas forestales del mundo. La Fotografía Aérea. *Revista UNASYLVA*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2(4): s/p. Agosto. Disponible en Internet: <http://www.fao.org/docrep/x5345s/x5345s07.htm#inventarios%20de%20los%20bosques>
- Tamames G, R. 2011. El grito de la Tierra Biosfera y cambio climático. Segunda edición, RBA Libros. Barcelona. 367 p.
- Tarbutck, E. J y F. K. Lutgens. 2005. Ciencias de la Tierra una introducción a la geología física. Octava edición, Pearson Prentice-Hall. España. 686 p.
- Torres, J. F., G. A. Flores., F. Calvo., L. Balam., V. Sepúlveda., I. E. García., O. Aguado y Z. Araujo. 2010. Valoración Económica de Seis Áreas Naturales Protegidas como sumideros de CO₂: Laguna Madre, Marismas Nacionales, Zicuirán-Infernillo, Sierra de Abra Tanchipa, Xilitla y Sierra Madre Oriental. GTZ-CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 137 p.
- United Nations Climate Change Conference (UNCCC). 2010. COP16 México. United Nations Climate Change Conference (UNCCC). México. [Consultado: 27/02/2013]. Formato html. Disponible en Internet: http://www.cc2010.mx/es/acerca_de_cop16/sustentabilidad-de-la-cop16cmp6/index.html

- United Nations Environment Programme (UNEP). 2013. COP 19/CMP9 Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Varsovia. United Nations Environment Programme (UNEP). [Consultado: 19/08/2016]. Formato html. Disponible en Internet: <http://www.unep.org/spanish/climatechange/COP19/tabid/130509/Default.aspx>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2014a. Acuerdo La ciencia del clima. United Nations. Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). [Consultado: 30/08/2016]. Formato html. Disponible en Internet: http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/antecedentes/items/6170.php
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2014b. Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol (CMP). UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). [Consultation: 30/08/2016]. Format html. Available on the Internet: <http://unfccc.int/bodies/body/6397/php/view/reports.php>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2014c. Un poco de historia—De la ratificación al cumplimiento. United Nations. Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). [Consultado: 22/02/2017]. Formato html. Disponible en Internet: http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/historia/items/6216.php
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2015. Acuerdo de París. United Nations. Framework Convention on Climate Change. [Consultado: 22/08/2016]. Formato html. Disponible en Internet: http://unfccc.int/portal_espanol/items/3093.php
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2013. Selva Baja Caducifolia. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México. [Consultado: 08/07/2013]. Formato html. Disponible en Internet: <http://www.puma.unam.mx/festival/index.php/selva-baja-caducifolia>
- Vargas, G. A., S. Aguilar. M., M. A. Castillo. S., E. Esquivel. B., M. A. Hernández V., A. M. López. G y S. Quechulpa. M. 2009. Programa Estatal para la Compensación por Servicios Ecosistémicos Una propuesta para Chiapas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 58 p. Disponible en Internet: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CG009868.pdf>
- Vargas M, A. V. 2010. La reserva de la biosfera Sierra del Abra Tanchipa, San Luis Potosí: Las ANP de lo internacional a lo local. Tesis de Maestría Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. 199 p.
- Velarde, R. J. C y J. Navia A. 2002. Prefactibilidad de captura de carbono para el conjunto predial La Majada- Cerro Grande. Asesoría Técnica Forestal (ATF) y

grupo interdisciplinario de tecnología rural apropiada (GIRA). Uruapan, Michoacán. México. 64 p. Disponible en Internet: <https://es.scribd.com/document/136849202/Captura-de-Carbono-Cerro-Grande-y-La-Majada-1>

WEBQC.Org. 2016. Calculadora de masa molar, peso molecular y composición elemental. Chemical Portal. [Consultado 29/07/2016]. Formato html. Disponible en Internet: <http://es.webqc.org/mmcalc.php>

Whiteman, H. 2011. ¿Canadá alentará a otros a “abandonar el bote” del Protocolo de Kioto? Planeta CNN. México. [Consultado: 14/07/2012]. Formato html. Disponible en Internet: <http://mexico.cnn.com/planetacnn/2011/12/13/canada-alentara-a-otros-a-abandonar-el-bote-del-protocolo-de-kyoto>.

Yáñez S., A. 2004. La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? *Gaceta Ecológica, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)*. (70): 5-18. Disponible en Internet: <http://www.redalyc.org/pdf/539/53907001.pdf>

Zamora C, J. C. 2003. Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido “La Majada” Municipio de Periban de Ramos, Michoacán. Tesis de Ingeniería en Agronomía con la Especialidad en Bosques. Facultad de Agrobiología, Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 59 p.

Zamora–Crescencio, P., M. del R. Domínguez–Carrasco., P. Villegas., C. Gutiérrez–Báez., L. A. Manzanero–Acevedo., J. J. Ortega–Haas., S. Hernández–Mundo., E. C. Puc–Garrido y R. Puch–Chávez. 2011. Composición florística y estructura de la vegetación secundaria en el norte del estado de Campeche, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. No 89: 27-35. Disponible en Internet: <http://www.scielo.org.mx/pdf/bsbm/n89/n89a3.pdf>

ANEXO

Cuadro 14. Coordenadas de sitios de muestreo de la RBAT.

Puntos de Muestreo	ANP Sierra del Abra Tanchipa			Coordenadas UTM			Coordenadas Geográficas	
	Fecha	Estado	X	Y	Error	Longitud	Latitud	
1	Selva mediana subperennifolia	15/04/2010	San Luis Potosí	507 011	2 448 088	7 m	-98.93201177432132	22.137861602178454
2	Selva mediana subperennifolia	15/04/2010	San Luis Potosí	507 012	2 448 173	10 m	-98.93200170831683	22.138629522889303
3	Selva baja caducifolia	16/04/2010	San Luis Potosí	506 116	2 458 003	6m	-98.94065331049818	22.227440678112927
4	Selva baja caducifolia	16/04/2010	San Luis Potosí	506 518	2 458 544	8 m	-98.93675030734374	22.232326769022517
5	Selva baja caducifolia	16/04/2010	San Luis Potosí	506 556	2 458 540	8 m	-98.93638157753374	22.232290487991587
6	Selva baja caducifolia con vegetación secundaria	16/04/2010	San Luis Potosí	506 555	2 458 594	8 m	-98.93639106126334	22.232778344264016
7	Selva baja caducifolia con vegetación secundaria	16/04/2010	San Luis Potosí	503 076	2 457 514	8 m	-98.970152922389	22.223030983549865

Coordenadas UTM Zona 14 Datum WGS84.

El número de sitios propuesto en el trabajo inicial se acortó en virtud de la inseguridad de la zona, accedando únicamente a siete sitios.