



Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa

División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Posgrado en Energía y Medio Ambiente

**Valoración de captura de Bióxido de Carbono (CO₂) en
coníferas, en el Parque estatal “El Faro”, Tlalmanalco, Estado
de México, México**

Tesis

que para obtener el grado en la:

Maestría en Ciencias (Energía y Medio Ambiente)

Presenta a la alumna:

Tanya Laura Arcos Gutiérrez

Asesora: Dra. Beatriz Adriana Silva Torres

Coasesor: Dr. Juan Gabriel Rivera Martínez

Sinodales: Dr. Ricardo Arturo Ruiz Picos

Dr. Juan Gabriel Rivera Martínez

M. en C. Enrique Mendieta Márquez

Ciudad de México 16 Julio de 2018



Índice

Resumen	4
1. Introducción	6
Capítulo I	
2. Antecedentes	13
2.1. Marco legal.....	17
2.1.1. Instrumentos Internacionales.....	19
2.1.1.1. Declaraciones Internacionales.....	19
2.1.1.2. Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático de 1992.....	28
2.1.1.3. Protocolo de Kyoto	34
2.1.1.4. Segundo periodo del Protocolo de Kyoto.....	38
2.1.1.5. Acuerdos de París.....	39
2.1.2. Instrumentos Nacionales.....	42
2.1.2.1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.....	42
2.1.2.2. Planes de Ambientales.....	43
2.1.2.3. Leyes.....	51
2.1.2.4. Normas Oficiales Mexicanas.....	54
2.2. Evaluación de los ecosistemas del Milenio.....	55
2.3. Conservación de Ecosistemas Forestales.....	61
2.4. Áreas Naturales Protegidas.....	68
2.5. Servicios Ecosistémicos.....	69
2.6. Gases de efecto invernadero.....	74
2.7. Ciclo de Carbono.....	76
2.8. Captura de Bióxido de Carbono.....	87
2.9. Secuestro de Bióxido de Carbono.....	98
2.10. Métodos para evaluar la captura de Bióxido de Carbono.....	102
2.11. Índices de diversidad.....	106



Capítulo II

3. Pregunta de investigación	119
4. Objetivos	119

Capítulo III

5. Zona de trabajo	120
5.1. Localización.....	120
5.2. Clima.....	123
5.3. Fisiografía.....	124
5.4. Geología.....	125
5.5. Suelos.....	125
5.6. Vegetación.....	127
5.7. Fauna.....	129
6. Metodología	130
6.1. Trabajo de campo.....	130
6.2. Trabajo de laboratorio.....	132

Capítulo IV

7. Resultados	134
8. Discusión	159

Capítulo V

9. Conclusiones	164
10. Recomendaciones	166
11. Bibliografía	167
Glosario	206
Anexos	208



Resumen

Entre los diversos gases de efecto invernadero que se generan, el bióxido de carbono (CO_2) es uno de los más importantes, por la magnitud de liberación a la atmosfera, así como sus efectos. Sin embargo, también es uno de los más abundantes en la atmósfera, presenta un papel destacado en los procesos vitales de plantas, animales y para el ser humano, en cantidades adecuadas, contribuye a que la temperatura de la Tierra se mantenga dentro de los límites que hacen posible la existencia de la vida.

Se realizó una investigación de los acontecimientos relevantes que han tenido un impacto sobre la presencia del CO_2 . En este trabajo se presenta una investigación realizada en el Parque Estatal “El Faro”, presenta un bosque templado, siendo que para este estudio se seleccionaron las coníferas que se encuentran en este sitio, ya que son las especies dominantes de la zona. Se hizo un muestreo en conglomerado, obteniendo datos de 272 árboles, de los cuales se tomaron medidas dasométricas como el diámetro a la altura del pecho y altura. Asimismo, se seleccionaron tres arboles por especies para determinar la biomasa; estas medidas se utilizaron en ecuaciones alométricas, para obtener datos de contenido de carbono.

Se determinó que el parque estatal “El Faro” genera alta de biomasa la cual influye directamente en la captación de CO_2 , por esta razón es importante realizar estudios para conocer como conservar estos sitios que nos brindan diversos beneficios.



Summary

Among the diversity greenhouses gases, the carbon dioxide (CO_2) is one of the most important, because of the magnitude of liberation to the atmosphere and its effects. However, it is also on of the most greenhouses gases abundant in the atmosphere, this gas present a very important role in the plants, animals and human vital prosses, in adequate amounts, it helps to regulate the temperature of the earth and stay in the limits for the life exist.

This investigation was made about de relevants events of the impact of CO_2 . In “El Faro” Statal Park, which is a wood tempered. For this study we selected conifer trees, of this area, because this is the domineering species in this site.

We made a conglomerate sampling, setting results from 272 samples, from each one were taken measurements dasometrics like diameter at chest height and total height. Also, they were selected three trees per species to decide biomass. This measurement is used in alometrics equations, for get carbon content.

With the previous dates we can determine in “El Faro” Statal Park, there is a new generation of biomass, this directly affect in the capture of CO_2 , for this reason is important to know how to conserve this areas that it give us diversity benefits.



1. Introducción

Durante las últimas décadas, el ser humano se está enfrentando a uno de los problemas más graves a nivel mundial, el cambio climático. A partir de la revolución industrial, este proceso se ha acelerado, por el uso de combustibles fósiles, para diversas actividades, aun cuando se tienen grandes avances en la innovación tecnológica que podría controlarlas. Hoy en día, el problema radica principalmente en los gases que se generan como resultado de la ignición de la combustión de la energía fósil, los cuales se denominan gases de efecto invernadero (GEI) y son causante del denominado efecto invernadero (Erikson, 1994; German Advisory Council on Global Change [WBGU], 2014; Rahmana, 2017).

Entre los diversos gases de efecto invernadero que se generan, el bióxido de carbono (CO_2) es uno de los más importantes, por la magnitud de liberación a la atmosfera, así como por sus efectos (Granados y Corner, 2006).

Una de las peculiaridades de la humanidad ha sido la búsqueda constante de formas de producción mayormente industrializadas, que suponen mejores niveles de vida y de desarrollo, sin embargo se han obviado las limitantes de un medio ambiente que sufre de agresiones constantes, resultando una fuerte degradación continua, entre la que destaca el aumento del CO_2 , cuya concentración en la atmósfera ha aumentado en casi 30% desde el principio de la revolución industrial, impactando en los organismos y las relaciones que permiten la vida en el planeta, afectando en diversos niveles de organización



sobre los individuos, poblaciones, comunidades y ecosistemas (Geneletti, 2004; Luell *et al.*, 2005).

Carpenter mencionaba (1990), que uno de los desafíos críticos para la ecología en los finales del siglo XX, era la comprensión y el manejo de los recursos terrestres frente al cambio ambiental. Las perturbaciones que se ocasionan por los fenómenos naturales (Ej. oscilación de la corriente del Niño), de los efectos antropogénicos inadvertidos (Ej. gases invernadero), de las prácticas de manejo (Ej. silvicultura, industrias pesqueras), así como de los proyectos de desarrollo, pueden considerarse como situaciones que ocasionaran perturbaciones en gran escala, pudiendo resultar importantes cambios en el ambiente (Carpenter, 1990).

Los ecosistemas de la Tierra generan una buena cantidad de recursos que son usados por los humanos sin ocasionarles daño. Cuando el consumo o uso de estos recursos se excede de los límites, los ecosistemas se agotan y dañan y pueden en última instancia no ser capaces de soportar el tamaño de la Población en el mismo nivel de consumo, siendo relevantes las investigaciones enfocadas en la relación cualitativa apropiada del ecosistema estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, así como el impacto de perturbar el medio ambiente y sobre la gestión adecuada a través de mediciones cuantitativas de los diversos servicios que presta (Breure *et al.* 2008, Mauenhofer, V. 2018)

Asimismo, proporcionan una serie de beneficios conocidos como “bienes y servicios ecosistémicos” (Comisión Europea, 2009), por lo que su deterioro representa grandes costos para las sociedades. En la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2003) se indican cuáles son los beneficios que



se obtienen, se contemplan servicios de suministro, como los alimentos y el agua; servicios de regulación, como la regulación de las inundaciones, las sequías, la degradación del suelo y las enfermedades; servicios de base, como la formación del suelo y los ciclos de los nutrientes y servicios culturales, como los beneficios recreacionales, espirituales, religiosos y otros beneficios intangibles.

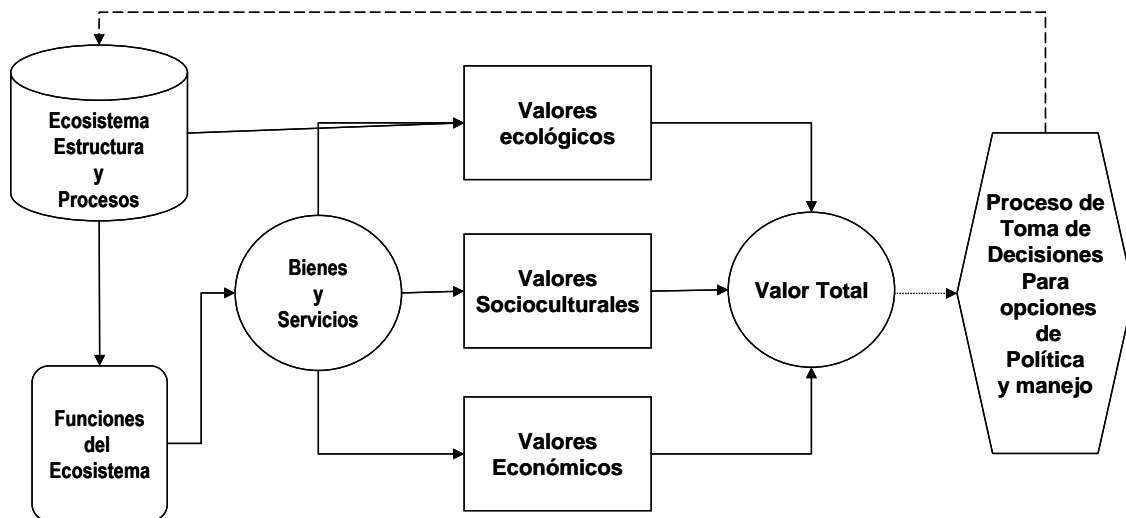
Dichos servicios ecosistémicos, también llamados ambientales, son cruciales para el desarrollo económico y el bienestar social (Constanza *et al.*, 1997), su producción depende de la estructura y procesos dentro de los ecosistemas (MEA, 2003). La demanda de los servicios que prestan es tan elevada en la actualidad, que las contraprestaciones entre los diversos servicios se han transformado en un fenómeno común.

Como muchos de los bienes y servicios que prestan, han estado siempre a libre disposición, sin estar sujetos a mercados ni a precios, su auténtico valor a largo plazo no se incluye en las estimaciones económicas de la sociedad (CE, 2009). Asimismo, el valor de los ecosistemas no solamente se debe afrontar desde la perspectiva ecológica, al conocer a los elementos que lo integran y sus funciones, sino que hay que abordarlo también desde las ópticas económica y social, siendo que bajo estas figuras se está incursionando en los ecosistemas.

Al definir evaluación nos referimos al proceso de expresar un valor para una acción particular o un objeto determinado. Cuando se habla de



evaluación de ecosistemas se habla de un valor para el ecosistema ya sea en bienes o servicios (Ej. Biodiversidad, protección de flujos, oportunidad de recreación, etc.), esta evaluación generalmente se ha evadido, como lo expresa el siguiente gráfico. Groot, *et al.* (2002) proponen un esquema que permite tener una forma comprensible de las funciones y servicios del ecosistema a evaluar, pero aun así resulta complejo abordar este tópico, ya que se debe presentar de manera amplia y explícita cada una de las funciones y servicios.



Esquema para integrar evaluación y funciones, bienes y servicios del ecosistema, Groot (2002)

Figura 1. Integración de evaluación y funciones, bienes y servicios de los ecosistemas (de Groot, 2002)

En los últimos años, se ha empezado a desarrollar la cooperación internacional para analizar los diversos impactos, así como sobre los medios para evitarlos o mitigarlos (Iuell *et al.*, 2005).



Una medida que ha sido propuesta es la mitigación del CO₂, a través de la reducción en la concentración presente en la atmósfera y la disminución de emisiones realizada por el hombre, como se mencionó en el informe de Kyoto (1998), principalmente para los países que se encuentran en el Anexo I. Respecto a la disminución de CO₂ atmosférico, se han propuesto acciones para captar este gas, utilizando diversas tecnologías (Monkman, *et al.* 2016). Sin embargo, uno de las principales formas naturales de captación de este gas, es a través de su captura y secuestro por los ecosistemas (Metz, 2005).

Uno de los depósitos más importantes del carbono en la biósfera se encuentra en los ecosistemas terrestres, en la materia orgánica vegetal viva, en la necromasa (madera muerta, hojarasca y detrito) y en la materia orgánica del suelo, que en comparación con los demás depósitos (atmósfera y depósitos pedológicos) en la tierra es pequeño, pero temporalmente muy activo (Ruíz-Díaz *et al.* 2007). El reservorio atmosférico de carbono determina la concentración de CO₂ en la atmósfera, cuya concentración puede influenciar el clima terrestre. Además, los flujos anuales entre la reserva atmosférica y las reservas de los océanos y la terrestre, son muy sensibles a los cambios.

Los bosques ocupan el 30% de la superficie emergida del planeta (Organization of the United Nations [FAO], 2007). Por su extensión y por el carácter de madurez o sus estadios sucesionales avanzados de la mayor parte de los bosques, éstos desempeñan funciones ambientales de gran importancia a distintas escalas, desde la local a la global (Ruiz-Pérez, *et al.*, 2007).



Así, los ecosistemas forestales, son importantes como reservorio de carbono, ya que los árboles retienen altas cantidades de este elemento por unidad de área en comparación con otros tipos de vegetación (IPCC, 2001a, Gasparri y Manghi, 2004). La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Binkley, 2004).

Cuando se trata del almacenamiento de carbono, no todos los ecosistemas son iguales. Los bosques lluviosos tropicales son los más efectivos en capturar el carbono indefinidamente. Sin los bosques, el CO₂ atmosférico aumentaría aún más rápido. Por lo tanto, el almacenamiento de carbono en los bosques y otros ecosistemas durante largos períodos es vital no solo para el balance mundial de carbono, sino también para una atmósfera segura. Si bien podemos ciertamente mejorar la manera en que se manejan los bosques para optimizar el secuestro de carbono y el almacenamiento a largo plazo, los ecosistemas tienen límites en su capacidad para utilizar carbono (Della, 2018).

El esfuerzo de investigación se ha centrado en los bosques lluviosos tropicales, descuidando el almacenamiento de carbono en bosques templados, a pesar de que la evidencia indica estos ecosistemas tienen amplia extensión y apreciables depósitos de carbono en la vegetación y suelos, ya que representan el 18% de la vegetación en el mundo (Corona-Nuñez, 2018).

La masa forestal puede entonces considerarse como una forma de energía solar almacenada, ya que las plantas utilizan esta energía para capturar CO₂ y agua a través de la fotosíntesis. Un ecosistema forestal actúa como "sumidero"



(eliminación neta de CO₂ atmosférico) cuando hay un aumento de la suma de las existencias totales de carbono retenidas en la misma vegetación forestal y las existencias derivadas de carbono orgánico en otros reservorios (Apps, 2004).

De acuerdo con Brown (1997), la biomasa es la cantidad total de materia orgánica aérea presente en los árboles, incluyendo hojas, ramas, tronco principal y corteza. Representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera o conservado y fijado en una determinada superficie.

En este trabajo se propone la combinación de diversos métodos para poder determinar la cantidad de CO₂ capturado en especies de coníferas que están presentes en el parque estatal “El Faro”. Para ello se identificaron las especies de coníferas presentes en esta zona, se realizó la rodalización del bosque y se determinó la calidad de sitio, para obtener datos y con ellos calcular la cantidad de CO₂ capturado.

Así tenemos que en el capítulo I, se presentan los antecedentes, internacionales y nacionales, pasando por las primeras publicaciones en donde se mencionan los efectos negativos, las cumbres internacionales, así como las leyes mexicanas. En el capítulo II se presenta la descripción del sitio elegido para realizar el estudio, como son sus características climáticas, fisiográficas, geológicas, edafológicas, vegetación y fauna. En el capítulo III, se presenta la pregunta de investigación, así como los objetivos y la metodología a seguir. En el capítulo IV, se presentan los resultados obtenidos, además de la discusión de estos. Para finalizar, en el capítulo V se presentan las conclusiones, así como algunas recomendaciones.



Capítulo I

2. Antecedentes

La temática del deterioro ambiental es una de las problemáticas que más atención centra entre las inquietudes que afectan a la humanidad en la actualidad. En un principio los problemas del ambiente y geográficos fueron motivo de reflexión. Hoy en día son los pobladores de las diferentes partes del mundo quienes asumen con expectación la ruptura del equilibrio ecológico del planeta, debido a que, en un corto periodo de tiempo, el ecosistema terrestre que tardo millones de años para construir su sistematicidad como totalidad ecológica, hoy está convertida en una compleja y dramática realidad (Abiad *et al.*, 2012).

Hemos sido testigos de diversos cambios en el planeta, siendo uno de ellos el clima. Debe considerarse que el clima no ha sido constante a lo largo de la historia, encontramos en los registros históricos y geológicos que las variaciones del clima pueden observarse en una amplia gama dentro de la escala temporal. A finales del siglo veinte y lo que ha corrido del veintiuno se ha presentado uno de los periodos más cálidos, en donde la temperatura media de la Tierra ha tenido los valores más altos de los últimos 130,000 años (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2001; Benavides–Ballesteros y León–Aristizabal, 2007). Se especula que estas variaciones se deben principalmente a las actividades antrópicas (Benito, 2008).

La industria previa a la Revolución Industrial, no se consideraba una preocupación para el ambiente, ya que la contaminación que ésta producía era una porción muy reducida, los cambios ambientales eran casi imperceptibles, la



producción se realizaba de forma artesanal, y la comercialización de los productos tenía un carácter de trueque (Hartwell, 2003; Ramírez y León, 2004). Estas industrias usaban carbón como fuente de energía, a pesar de que se producían contaminantes, los resultados de éstos fueron muy reducidos, además los procesos de producción y explotación del suelo y subsuelo permitían su renovación y conservación natural, no provocando daños graves (Ordóñez y Masera, 2001; Abiad *et al.*, 2012).

El problema comienza con la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII con el invento de la máquina a vapor. Se inicia la etapa en donde las fábricas implementan sistemas de producción masiva, trayendo un avance tecnológico, así como desarrollo; al mismo tiempo deteriorando gravemente al planeta (Ramírez y León, 2004).

La Revolución Industrial también conocida como la revolución “maquinista”, se denomina como el conjunto de cambios que tomaron lugar durante la historia moderna de Europa. Esta se caracterizó por el uso intensivo de las máquinas de vapor dentro del ámbito industrial, originando cambios en los mecanismos de producción y transformando la sociedad de consumo, dando como resultado la apertura de mercados masivos y de una institución capitalista. Durante la segunda mitad del siglo XVIII, Inglaterra inicia una transformación que generó grandes cambios en la estructura socio-demográfica de la sociedad, en las técnicas de producción, el desempeño y eficacia del trabajo y en los sectores que componían la economía de aquel entonces (Hartwell, 2003; Abiad *et al.*, 2012).



Los cambios tecnológicos y el modo de practicar la agricultura como resultado de la transferencia, innovación y difusión de desarrollos agrícolas tecnológicos, es lo que se entiende por revolución verde. La Revolución Agraria o Revolución Verde, comienza después de la segunda guerra mundial y por sus efectos, partir de 1960 se traslada el campesinado a las ciudades y al cercamiento de sus tierras por parte de los terratenientes y el Estado, debido a la utilización de nueva tecnología aplicada al trabajo, haciendo éste más rápido, eficaz y económicamente más provechoso dada la cantidad de bienes fabricados en menor tiempo y con una distribución más rápida en el mercado (Hartwell, 2003; Pérez-Vázquez y Landeros-Sánchez, 2009).

La máquina de vapor, inventada en 1768, por James Watt, permitía el movimiento de una rueda, por lo que ya no era necesaria la tracción animal o de la fuerza de la naturaleza (viento). La máquina de vapor sólo necesitaba de carbón y agua, por lo que dicha tecnología fue aplicándose progresivamente a todos los transportes (la navegación y especialmente al ferrocarril). Después de la máquina de vapor cualquier instrumento mecánico o medio de transporte tenía capacidad de moverse por sí mismo (Abiad *et al.*, 2012).

La creciente actividad del sector industrial crea una demanda de avances tecnológicos. Los primeros avances son en el sector agrícola, y después se genera un desarrollo del sector puntero industria (textil y metalúrgico). La necesidad de producir cada vez más y con mayor rapidez, genera una búsqueda de soluciones a problemas cotidianos que a su vez, generan otras respuestas paralelas, un ejemplo de ello es la contaminación la cual creció de una manera muy rápida y muy abrupta (Hartwell, 2003; Abiad *et al.*, 2012).



Con la Revolución Industrial, nace una problemática íntimamente ligada a la quema de combustibles fósiles, causando primordialmente la contaminación del aire (aumentó la presencia de gases como CO₂), agua (al ser arrojados grandes cantidades de desechos químicos e industriales) y suelo (inicio de la deforestación). Aunado a lo anterior, a partir de mediados del siglo XX, esta situación se vio acrecentada con la Revolución Verde y el uso sistemático de productos sintéticos (fertilizantes y plaguicidas), cuyo fin es aumentar la producción de las tierras agrícolas; asimismo se incrementaron los residuos domésticos e industriales, al aumentar el consumo de las personas y con ello la producción industrial. Además, en esta época la cantidad de gases emitidos por las fábricas era incontrolable. La polución sonora, visual y contaminación del aire y agua fueron las mayores desventajas de los surgimientos tecnológicos de la revolución (Abiad *et al.*, 2012; Messina de Estrella Gutiérrez, 2012; Ochoa-Hueso, 2017).

Finalmente, con el advenimiento de la Revolución Industrial, los mercados condujeron la usurpación del ambiente; de esta manera su triunfo llevo a nuevas formas de escasez, no solo de los animales de caza, de los alimentos, de la tierra, de los combustibles, etc., sino también de la capacidad de absorción del medio ambiente (Moreno, 2010).



2.1 Marco legal

Se considera que en la década de los 60's tuvieron lugar diversos eventos con gran influencia en los movimientos ambientalistas. En 1961, se firma el Manifiesto de Morges, donde se crea el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) en donde se sientan las bases para crear una institución conservacionista que ha crecido hasta convertirse en la mayor organización independiente del mundo (WWF, 1961).

En 1962 se publica el libro de Rachel Carson *Primavera Silenciosa* que por su alcance, de alguna manera, cambió la manera de ver y sentir el mundo. Este libro se convirtió rápidamente en un catalizador para el movimiento ambientalista, el cual empieza a gestar el conocimiento de la intervención humana en el deterioro ambiental. La preocupación pública sobre los efectos de la industrialización comenzó a aumentar. Los eventos que se celebraban a favor del medio ambiente, así como a la atención sobre estas cuestiones, eran cada vez más populares. El libro surgió como una necesidad de denunciar el uso indiscriminado de químicos, herbicidas y pesticidas, así como sus afectaciones al ambiente (Mallén–Rivera, 2012).

El período de 1962 a 1970 fue testigo de que la sobrepoblación y la industrialización habían dejado a la humanidad atrapada en un ambiente en deterioro. El daño no era sólo estéticamente desagradable, sino que amenazaba la supervivencia misma del hombre.

En años subsecuentes en Estados Unidos se empieza a trabajar en una legislación ambiental teniendo como resultado la publicación de la "*National*



Environmental Policy Act el 1 de enero de 1970 (www.epa.gov/nepa/what-national-environmental-policy-act).

En particular en esta década se tiene la preparación de dos acontecimientos que dan pie a la aparición de lo que hoy conocemos como ambientalismo, y son las reuniones preparativas para la creación del llamado Club de Roma en 1970 y las resoluciones de la Conferencia de las Naciones Unidas de Estocolmo en 1972.

El informe del Club de Roma *Los límites del crecimiento* (Meadows *et al.*, 1972) se consideró uno de los argumentos impulsores centrales para promover un mejoramiento en cuestión ambiental. En este informe es la primera vez que se reconoce que los recursos naturales no son ilimitados y que por lo tanto la economía los debe de manejar de manera más cuidadosa. Desarrolló un modelo matemático con variables demográficas y de producción primaria, demostrando que al continuar de la misma forma, colapsaría el mundo.

La UNESCO había fundado en 1968, el proyecto *Man and Biosphere* (MAB), con el objetivo de: “proporcionar los conocimientos fundamentales de ciencias naturales y de ciencias sociales necesarios para la utilización racional y la conservación de los recursos de la biosfera y para el mejoramiento de la relación global entre hombre y el medio, así como para predecir las consecuencias de las acciones de hoy sobre el mundo del mañana, aumentando así la capacidad del hombre para ordenar eficazmente los recursos naturales de la biosfera” (Novo, 1995).

Además, se hicieron coloquios preliminares en New York (1970), Ginebra (1971) y Founex (1971) en los que se hizo básicamente un llamado a la solidaridad para



un desarrollo responsable
(www.uncitral.org/uncitral/es/commission/sessions.html). Con este llamado se incorpora la visión, ética, social y económica en el análisis de la problemática ambiental, superando la visión puramente conservacionista (Novo, 1995; Eschenhagen, 2006), teniendo en cuenta que la visión conservacionista era la que estaba predominando hasta el momento en los países del Norte. Desde ese momento, se fue reconociendo que la parte ambiental no se soluciona simplemente con conservar. Esta fue un punto importante en Estocolmo (Eschenhagen, 2006).

Lo anterior fueron los pasos que se siguieron para crear las bases para la creación de la legislación ambiental que ha tenido gran importancia en la ordenación de las actividades que realiza el hombre, incluyendo la regulación de las emisiones a la atmosfera.

2.1.1 Instrumentos Internacionales

2.1.1.1 Declaraciones Internacionales

Se han tenido cinco Conferencias Internacionales sobre el medio ambiente. En la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, que se celebró del 5 al 16 de junio de 1972 en Estocolmo, Suecia (ONU, 1972), se sentaron las bases para una política ambiental en el futuro, así como para una legislación internacional sobre el medio ambiente. Además, se reconoció la estrecha relación que existe entre la destrucción ambiental y el desarrollo, al declarar que el crecimiento económico no es necesariamente



siempre equiparable con progreso, señalando que la problemática ambiental es consecuencia de un crecimiento económico mal planificado (Caride, 1991).

El mayor logro de la Conferencia fue que los participantes aceptaran una visión ecológica del mundo, en la que se reconocía, entre otras cosas, que como se estipula en la primera proclamación " *el hombre es la vez obra y artífice del medio ambiente que lo rodea, el cual le da sustento material y le brinda la oportunidad de desarrollarse intelectual, moral, social y espiritualmente. Es la larga y tortuosa evolución de la raza humana en este planeta ha llegado a una etapa en que, gracias a la rápida aceleración de la ciencia y la tecnología, el hombre ha adquirido el poder de transformar, de innumerables maneras y en una escala sin precedentes, cuanto lo rodea. Los dos aspectos del medio ambiente humano, el natural y el artificial, son esenciales para el bienestar del hombre y para el goce de los derechos humanos fundamentales, incluso el derecho a la vida misma*". Fijándose de manera más concreta en las consecuencias sobre amplias zonas del mundo de las actividades de los países industrializados, se constata en su proclamación 3 que " *...la capacidad del hombre de transformar lo que le rodea, utilizada con discernimiento, puede llevar a todos los pueblos los beneficios del desarrollo y ofrecerles la oportunidad de ennoblecer su existencia. Aplicado errónea o imprudentemente, el mismo poder puede causar daños incalculables al ser humano y a su medio ambiente. A nuestro alrededor vemos multiplicarse las pruebas del daño causado por el hombre en muchas regiones de la tierra, niveles peligrosos de contaminación del agua, del aire, de la tierra y de los seres vivos; grandes trastornos del equilibrio ecológico de la biosfera; destrucción y agotamiento de recursos insustituibles y graves deficiencias, nocivas para la*



salud física, mental y social del hombre, en el medio ambiente por él creado". El reconocimiento del carácter mundial de la problemática ecológica supuso que, además de las acciones a nivel individual y nacional, se insistiera asimismo en la necesidad *"...de una amplia colaboración entre las naciones y la adopción de medidas por las organizaciones internacionales, en interés de todos"* (ONU, 1992a).

Veinte años después de Estocolmo se organiza la Cumbre de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en la ciudad de Río de Janeiro, Brasil, del 3 al 14 de junio de 1992, con el objetivo de establecer una alianza mundial nueva y equitativa mediante la creación de nuevos niveles de cooperación entre los Estados, los sectores claves de las sociedades y las personas, procurando alcanzar acuerdos internacionales en los que se respeten los intereses de todos y se proteja la integridad del sistema ambiental y de desarrollo mundial, reconociendo la naturaleza integral e interdependiente de la Tierra, nuestro hogar.

Esta Conferencia detona la historia de la gestión ambiental en el mundo. Desde 1989 inicio su proceso preparatorio, dando gran ímpetu a la política ambiental de los países de la región, que sirvió para consolidar muchos de los logros alcanzados en las dos décadas anteriores, en gran parte, respuesta a los acuerdos alcanzados en la Conferencia sobre medio ambiente efectuada en Estocolmo en 1972 (ONU, 1992a).

El informe Brundtland Nuestro Futuro común de 1987, antecedió a Río '92, en donde se comienza a hablar de desarrollo sostenible. Se reconoce el límite de lo



recursos naturales y la necesidad de cuidarlos para las generaciones futuras y al mismo tiempo insiste con la idea de la necesidad del desarrollo económico como meta principal (Alanis-Ortega, G. A. 2013).

La Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, Brasil, en 1992 (ONU, 1992a) marcó un hito al producir acuerdos que trata integralmente los temas ambientales globales al incorporar el desarrollo sostenible como meta principal. Los cinco acuerdos de la Cumbre de la Tierra configuran la respuesta política más universal y articulada para establecer un régimen internacional de cooperación, cuyo objetivo es alcanzar la plena incorporación de la dimensión ambiental al desarrollo. Estos acuerdos son: la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y el Desarrollo, la Agenda 21, la Declaración sobre Principios Relativos a los Bosques, el Convenio Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que se tratara más adelante y el Convenio sobre Diversidad Biológica (Ibidem)

Río '92 permitió construir un nuevo paradigma, la sustentabilidad, que significa que los cambios antropogénicos en los ecosistemas, producidos por los procesos de intercambio sociedad/naturaleza, no deben afectar la supervivencia o el bienestar humano, en los servicios de los sistemas naturales base (Carmona-Lara, 2012). Lo cual implica que su tratamiento conceptual y operativo debe incluir el análisis del comportamiento de la sociedad hacia su medio ambiente y de la naturaleza en sí misma y ello en diversos niveles de escalas espaciales y temporales (Iglesias y Roco. 2007)

Posteriormente la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en Johannesburgo, Sudáfrica, del 26 de agosto al 4 de septiembre de 2002 (ONU,



2002a), constituye un gran esfuerzo, tanto gubernamental como no gubernamental, por mantener el interés y las acciones de la comunidad internacional en un tema que nos atañe a todos: el desarrollo sostenible.

Previo a esta cumbre, se realizó la Cumbre de la Tierra+5 en junio de 1997 (ONU, 1997), en donde se reconoció que el medio ambiente mundial continuaba deteriorándose como consecuencia del incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero, la contaminación tóxica y los desechos sólidos. De igual forma se admitió que los recursos, en particular el agua, los bosques, el suelo y los recursos pesqueros seguían explotándose a niveles que eran claramente insostenibles.

Los países participantes en la Cumbre de la Tierra+5 acordaron: reafirmar su compromiso político con el desarrollo sostenible; reconocer los compromisos de los países desarrollados en materia de cooperación internacional para el desarrollo; continuar el diálogo sobre bosques, incluyendo la consideración de elementos para un posible instrumento legal; realizar diálogos de alto nivel sobre agua, energía y transporte en el marco de la Comisión de Desarrollo Sostenible; avanzar hacia compromisos más amplios en materia de turismo, patrones de producción y consumo y ecoeficiencia.

La Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible se llevó a cabo en Johannesburgo, Sudáfrica (ONU, 2002a). En donde se registraron hechos importantes en materia institucional y legislativa relacionada con el medio ambiente como:



- a) Avances institucionales en la mayoría de los países en desarrollo respecto a la consolidación de instituciones dirigidas a proteger el medio ambiente y a vincular el desarrollo con las políticas ambientales.
- b) Consolidación de foros y políticas regionales, como el Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe.
- c) El desarrollo de las investigaciones científicas sobre los problemas ambientales, que da mayor certeza a las implicaciones futuras que deben considerarse en la relación hombre naturaleza.
- d) D) Avances en la aplicación de las convenciones ambientales multilaterales con la adopción de dos instrumentos jurídicos de gran relevancia: el Protocolo de Kyoto sobre Cambio Climático y el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología
- e) El crecimiento de la participación de la sociedad civil en los temas ambientales y de desarrollo no sólo a un nivel discursivo y contestatario, sino que ahora se revela su participación con un sentido de corresponsabilidad.

En esta declaración se hace referencia a alcanzar el desarrollo sostenible y con ello disminuir problemas ambientales, tal como es el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, por ejemplo CO₂, incorporando tres grandes rubros:

Los Grandes Problemas que tenemos que resolver



En su apartado 13 indica: *El medio ambiente mundial sigue deteriorándose. Continúa la pérdida de biodiversidad; siguen agotándose las poblaciones de peces; la desertificación avanza cobrándose cada vez más tierras fértiles; ya se hacen evidentes los efectos adversos del cambio del clima; los desastres naturales son más frecuentes y más devastadores, y los países en desarrollo se han vuelto más vulnerables, en tanto que la contaminación del aire, el agua y los mares sigue privando a millones de seres humanos de una vida digna.*

Nuestro compromiso con el desarrollo sostenible

En el inciso 19 menciona: *Reafirmamos nuestra promesa de asignar especial importancia a la lucha contra problemas mundiales que representan graves amenazas al desarrollo sostenible de nuestra población y darle prioridad.*

Hacer que suceda

En su inciso 36 dice: *Nos comprometemos con el Plan de Implementación de Johannesburgo y con el rápido logro de las metas de tiempos, socio-económicas y ambientales contenidas en el mismo.*

Finalmente, del 20 al 22 de junio de 2012 se realizó la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible también conocida como Río +20 (ONU, 2012), aprobando el documento “El futuro que queremos”. Se trata de una oportunidad histórica para definir las vías hacia un futuro sostenible, un futuro con más empleos, más energía limpia, una mayor seguridad y un nivel de vida digno para todos. Dentro de las consideraciones efectuadas en esta reunión



destaca con la referente a que “Las emisiones de gases de efecto invernadero continúan aumentando, y más de un tercio de todas las especies conocidas podrían extinguirse si el cambio climático continúa sin control”.

Como un corolario a estas Cumbres se tiene el Plan de Implementación de Johannesburgo (Jpol), (2002b), el cual persigue desarrollar los resultados obtenidos desde la CNUAD y con ese propósito se asume el compromiso de emprender acciones concretas y medidas en todos los niveles para impulsar la cooperación sobre la base de los principios de Río, incluido el principio de las responsabilidades comunes pero diferenciadas establecido en el párrafo 7 de la Declaración sobre Ambiente y Desarrollo. Tales esfuerzos deberán promover la integración de los tres componentes del desarrollo sostenible: desarrollo económico, desarrollo social y protección del ambiente, como pilares interdependientes de sustentación.

Se reconocen como objetivos fundamentales y requisitos indispensables para alcanzar el desarrollo sostenible la erradicación de la pobreza, el cambio de los patrones insostenibles producción y consumo y la protección y gestión de los recursos naturales que constituyen la base del desarrollo económico y social.

El Plan de Implementación señala que las actividades humanas están produciendo un impacto creciente sobre la integridad de los ecosistemas que proporcionan los recursos y servicios esenciales para el bienestar humano y las actividades económicas. Advierte que el manejo de los recursos naturales de una manera sostenible e integrada es esencial para el desarrollo sostenible y que para revertir lo más pronto posible la tendencia actual de degradación es



necesario aplicar estrategias que incluyan metas acordadas en el ámbito nacional y, cuando proceda, a nivel regional para proteger los ecosistemas y asegurar un manejo integrado de las tierras, el agua y los recursos vivos, fortaleciendo al mismo tiempo las capacidades regional, nacionales y locales (Ibidem).

Dentro de este contexto, el Plan de Implementación destaca que los cambios en el clima terrestre y sus efectos adversos son una preocupación común de la humanidad. Se registra además la preocupación de los Jefes de Estado y de Gobierno ante el hecho de que todos los países confrontan los riesgos crecientes del impacto negativo del cambio climático y reconocen que los problemas de pobreza, degradación de la tierra, acceso al agua, la alimentación y la salud humana deben continuar siendo el centro de la atención global (Ibidem)

En particular se menciona en el Capítulo IV, incisos 24 y 38:

Capítulo IV. Protección y gestión de la base de recursos naturales del desarrollo económico y social

24. Las actividades humanas tienen efectos cada vez mayores en la integridad de los ecosistemas que proporcionan recursos y servicios esenciales para el bienestar y las actividades económicas. Gestionar la base de recursos naturales de modo sostenible e integrado es esencial para el desarrollo sostenible. A ese respecto, para invertir la tendencia actual de degradación de los recursos naturales, es necesario aplicar estrategias que incluyan objetivos aprobados a nivel nacional y, cuando proceda a nivel regional para proteger los ecosistemas



y asegurar el ordenamiento territorial, el agua y los recursos vivos, al tiempo que se fortalece la capacidad local, nacional y regional.

38. El cambio climático y sus efectos adversos son una preocupación de toda la humanidad. Seguimos profundamente preocupados porque todos los países, en particular los países en desarrollo, los países menos adelantados y los pequeños estados insulares en desarrollo, reconozcan que en este contexto, el problema de la pobreza, la degradación de la tierra, el acceso al agua y a los alimentos y la salud humana continúan siendo el centro de la atención mundial...

En la cumbre, se menciona que gracias a las actividades humanas el cambio en el clima ha afectado a las poblaciones, dicho cambio es propiciado por las emisiones de los diversos gases de efecto invernadero como es el CO₂. Se menciona la preocupación de no realizar acciones para detener el cambio climático, principalmente para países en vías de desarrollo, los cuales no tienen como preocupación principal, mitigar las emisiones a la atmósfera (Ibidem).

2.1.1.2 Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático de 1992 (ONU, 1992b)

Junto con los instrumentos equivalentes relativos a la diversidad biológica y a la lucha contra la desertificación, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, adoptada el 9 de mayo de 1992 en Nueva York, se abrió para su firma en la Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo o “Cumbre de la Tierra”, celebrada en Río de Janeiro, Brasil, en junio de 1992 (Tudela, 2014).



La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático establece una estructura general para los esfuerzos intergubernamentales encaminados a resolver el desafío del cambio climático. Reconoce que el sistema climático es un recurso compartido cuya estabilidad puede verse afectada por actividades industriales y de otro tipo que miden CO₂, así como otros gases que retienen el calor. En virtud del convenio, los gobiernos recogen y comparten la información sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, las políticas nacionales y las prácticas óptimas que ponen en marcha, estrategias nacionales para abordar el problema de las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse a los efectos previstos, incluida la prestación de apoyo financiero y tecnológico a los países en desarrollo, también cooperan para prepararse y adaptarse a los efectos de cambio climático (Arámbula-Reyes, 2007).

Uno de los principales retos de la Convención Marco fue definir compromisos para las partes firmantes, con base en el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas, bajo el cual los países desarrollados, conocidos como países “Anexo I” (países desarrollados), adoptaron el compromiso cuantitativo de reducir sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para que en año 2000, se tengan los volúmenes que se presentan en 1990 y mantener estos niveles. Los países en vías de desarrollo se conocen como países “No Anexo I” y no tienen compromisos cuantitativos de reducción de emisiones, no obstante, comparten los compromisos aplicables a todas las partes de la convención, entre los que figuran actividades de planeación, implementación de acciones y



educación y difusión del conocimiento. México, se encuentra dentro de este listado (SENADO, 2012).

México firmo su adhesión a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el 13 de junio de 1992, durante la Cumbre de Río, lo cual fue aprobado por unanimidad en la Cámara de Senadores el 3 de diciembre del mismo año. Posteriormente se ratificó ante la Organización de las Naciones Unidas el 11 de marzo de 1993 (SENADO, 2012).

En esta Declaración las Partes en la Convención (ONU, 1992b), reconocen que *“los cambios del clima de la Tierra y sus efectos adversos son una preocupación común en toda la humanidad,*

Preocupadas porque las actividades humanas han ido aumentando sustancialmente las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, y porque ese aumento intensifica el efecto invernadero natural, lo cual dará como resultado, en promedio, un calentamiento adicional de la superficie y la atmósfera de la Tierra y puede afectar adversamente a los ecosistemas naturales y a la humanidad,

Tomando nota de que, tanto históricamente como en la actualidad, la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero del mundo han tenido su origen en los países desarrollados, que las emisiones per cápita en los países en desarrollo son todavía relativamente reducidas y que la proporción del total de emisiones originada en esos países aumentará para permitirles satisfacer a sus necesidades sociales y de desarrollo,



Conscientes de la función y la importancia de los sumideros y los depósitos naturales de gases de efecto invernadero para los ecosistemas terrestres y marinos,

Tomando nota de que hay muchos elementos de incertidumbre en las predicciones del cambio climático, particularmente en lo que respecta a su distribución cronológica, su magnitud y sus características regionales,

Reconociendo que la naturaleza mundial del cambio climático requiere la cooperación más amplia posible de todos los países y su participación en una respuesta internacional efectiva y apropiada, de conformidad con sus responsabilidades comunes pero diferenciadas, sus capacidades respectivas y sus condiciones sociales y económicas, ...”

Dentro del documento final se tiene el Artículo primero en donde se establecen varias definiciones, entre las que destaca la referente a las “emisiones” que es *entiende la liberación de gases de efecto invernadero o sus precursores en la atmósfera en un área y un período de tiempo especificados. Siendo los “gases de efecto invernadero” aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y reemiten radiación infrarroja.*

En el Artículo 2, se establece el objetivo de la Convención el cual consiste en “*la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que*



la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible”.

En el Artículo 3, se indica que las Partes, en las medidas que adopten para lograr el objetivo de la Convención (Ibidem) y aplicar sus disposiciones, se guiarán, entre otras cosas, por lo siguiente:

1. Las Partes deberían proteger el sistema climático en beneficio de las generaciones presentes y futuras, sobre la base de la equidad y de conformidad con sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y sus respectivas capacidades. En consecuencia, las Partes que son países desarrollados deberían tomar la iniciativa en lo que respecta a combatir el cambio climático y sus efectos adversos.

3. Las Partes deberían tomar medidas de precaución para prever, prevenir o reducir al mínimo las causas del cambio climático y mitigar sus efectos adversos. Cuando haya amenaza de daño grave o irreversible, no debería utilizarse la falta de total certidumbre científica como razón para posponer tales medidas, tomando en cuenta que las políticas y medidas para hacer frente al cambio climático deberían ser eficaces en función de los costos a fin de asegurar beneficios mundiales al menor costo posible. A tal fin, esas políticas y medidas deberían tener en cuenta los distintos contextos socioeconómicos, ser integrales, incluir todas las fuentes, sumideros y depósitos pertinentes de gases de efecto invernadero y abarcar todos los sectores económicos. Los esfuerzos para hacer frente al cambio climático pueden llevarse a cabo en cooperación entre las Partes interesadas.



El Artículo 4 incorpora los compromisos de las Partes:

1. Todas las Partes, teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y el carácter específico de sus prioridades nacionales y regionales de desarrollo, de sus objetivos y de sus circunstancias, deberán:

d) Promover la gestión sostenible y promover y apoyar con su cooperación la conservación y el reforzamiento, según proceda, de los sumideros y depósitos de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, inclusive la biomasa, los bosques y los océanos, así como otros ecosistemas terrestres, costeros y marinos;

g) Promover y apoyar con su cooperación la investigación científica, tecnológica, técnica, socioeconómica y de otra índole, la observación sistemática y el establecimiento de archivos de datos relativos al sistema climático, con el propósito de facilitar la comprensión de las causas, los efectos, la magnitud y la distribución cronológica del cambio climático, y de las consecuencias económicas y sociales de las distintas estrategias de respuesta y de reducir o eliminar los elementos de incertidumbre que aún subsisten al respecto;

i) Promover y apoyar con su cooperación la educación, la capacitación y la sensibilización del público respecto del cambio climático y estimular la participación más amplia posible en ese proceso, incluida la de las organizaciones no gubernamentales;

En el Artículo 6, se incorpora lo relativo a educación, formación y sensibilización del público para llevar a la práctica los compromisos a que se refiere el inciso i) del párrafo 1 del artículo 4 las Partes:



a) Promoverán y facilitarán, en el plano nacional y, según proceda, en los planos subregional y regional, de conformidad con las leyes y reglamentos nacionales y según su capacidad respectiva:

ii) El acceso del público a la información sobre el cambio climático y sus efectos;

iii) La participación del público en el estudio del cambio climático y sus efectos y en la elaboración de las respuestas adecuadas; y

iv) La formación de personal científico, técnico y directivo;

2.1.1.3 Protocolo de Kyoto

El Protocolo de Kyoto (ONU, 1998) se inscribió dentro del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, y pide que los países industrializados –excepto los Estados Unidos de América, que no participa– reduzcan sus emisiones de gases que contribuyen al calentamiento global en aproximadamente 5% por debajo de los niveles de 1990 para el periodo 2008-2012. Los países adoptaron diferentes porcentajes el cual es el objetivo dentro de este compromiso general.

Este protocolo permitió que los participantes reduzcan las emisiones en sus países de origen y/o beneficiarse de los llamados mecanismos flexibles (Comercio de Emisiones, el Desarrollo Limpio y la Aplicación Conjunta), así como contabilizar el carbono absorbido por los llamados sumideros como los bosques o las tierras de cultivo. Además, se impusieron sanciones a aquellos países que no cumplan sus objetivos.



El Protocolo de Kyoto no cuenta ningún compromiso nuevo para los países en desarrollo más allá de los alcanzados en la convención de la ONU sobre el clima, celebrada en 1992, ya que se acordó que los países industrializados, como emisores principales de los gases que causan el calentamiento global, deberían ser los primeros en adoptar medidas para controlar las emisiones (Higuera y Vallecillo, 2002).

Los requisitos para que entrará en vigor el protocolo de Kyoto fueron:

- Al menos 55 de los participantes en el convenio sobre el cambio climático, ratifiquen, acepten, aprueben o admitan el Protocolo.
- Los participantes deben de aparecer en el Anexo I del Protocolo (países industrializados) que sumen al menos el 55% de las emisiones totales de CO₂ emitidas por las naciones del Anexo I de 1990. El Protocolo entraría en vigor 90 días después del cumplimiento de estos criterios, lo cual sucedió en 2005.

Dentro del Protocolo se abarcan diferentes temáticas, con respecto a la captura de uno de los gases de efecto invernadero más abundantes el CO₂ se considera en el Artículo 2, *“que con el fin de promover el desarrollo sostenible, cada una de las partes incluidas:*

a) *Aplicará y/o seguirá políticas y medidas de conformidad con sus circunstancias nacionales, por ejemplo:*

i) *Fomento de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional*



ii) *Protección y mejora de los sumideros y depósitos de los gases de efecto invernadero no controlados, promoción de prácticas sostenibles de gestión forestal, la forestación y la reforestación.*

iii) *Promoción de modalidades agrícolas sostenibles a la luz de las consideraciones del cambio climático*

iv) *Investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales”.*

Así mismo en el Artículo 10, se solicita que todas las partes:

a) *Formularán, programas nacionales y en su caso regionales, para mejorar la calidad de los factores de emisión, datos de actividad y/o modelos locales que sean eficaces en relación con el costo y que reflejen las condiciones socioeconómicas de cada parte para la realización y la actualización periódica de los inventarios nacionales de las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados, utilizando las metodologías comparables en que convenga:*

b) *Formularán, aplicarán, publicarán y actualizarán periódicamente programas nacionales y en su caso, regionales que contengan medidas para mitigar el cambio climático, y medidas para facilitar una adaptación adecuada al cambio climático:*

Tales programas guardarían relación, entre otras cosas, con los sectores de la energía, el transporte y la industria así con la agricultura, la silvicultura y la



gestión de los desechos. Es más, mediante las tecnologías y métodos de adaptación para la mejora de la planificación espacial se fomentaría la adaptación al cambio climático.

c) Cooperarán en la promoción de modalidades eficaces para el desarrollo, la aplicación y la difusión de tecnologías, conocimientos especializados, prácticas y procesos ecológicamente racionales en lo relativo al cambio climático y adoptarán todas las medidas viables para promover, facilitar y financiar, según corresponda, la transferencia de esos recursos o el acceso a ellos, en particular beneficio de los países en desarrollo, incluidas la formulación de políticas y programas para la transferencia efectiva de tecnologías ecológicamente racionales que sean propiedad pública o de dominio público y la creación en el sector privado de un clima propicio que permita promover la transferencia de tecnologías ecológicamente racionales y el acceso a éstas.

d) Cooperación en investigaciones científicas y técnicas, promoverán el mantenimiento y el desarrollo de procedimiento de observación sistemática y la creación de archivos de datos para reducir las incertidumbres relacionadas con el sistema climático, las repercusiones adversas del cambio climático y las consecuencias económicas y sociales de las diversas estrategias de respuesta, promoverán el desarrollo y el fortalecimiento de la capacidad y de los medios nacionales para participar en actividades, programas y redes internacionales e intergubernamentales de investigación y observación sistemática.



2.1.1.4 Segundo periodo del Protocolo de Kyoto

En 2005, se estableció un Grupo de Trabajo que buscaba acordar nuevas metas de reducción de emisiones para las Partes del Anexo I, al igual que un nuevo periodo de cumplimiento que empezaría a regir después de 2012. Sin embargo, la exigencia de los países desarrollados de que los países en desarrollo asumieran compromisos de mitigación, entre otros temas, impidieron que se llegara a un acuerdo durante la Conferencia de las Partes (COP15) en Copenhague (García-Arbeláez *et al.*, 2016).

En 2012, durante la decimoctava Conferencia de las Partes (COP 18) en Qatar, los países preocupados por quedarse sin un acuerdo internacional que estableciera obligaciones de mitigación adoptaron la Enmienda de Doha al Protocolo que extiende las obligaciones de los países desarrollados hasta el 2020. La Enmienda aún no reúne el número de ratificaciones necesarias para entrar en vigor sobre cambio climático ratificó el segundo periodo de vigencia del Protocolo de Kyoto desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020 (García-Arbeláez *et al.*, 2016). Para diciembre de 2017 solo 95 de las 192 aceptado, siendo necesarias por lo menos 144 para que entre en vigor (ONU, 2017).

La Enmienda de Doha

La Enmienda de Doha al Protocolo de Kyoto, conocido además como la Decisión 1/CMP.8, tiene entre sus propósitos principales dar inicio a un segundo período de compromisos para reducir gradualmente las emisiones de gases de efecto invernadero (ONU, 2012).



Mediante ella se enmienda los Anexos A y B del Protocolo de Kyoto, conjuntamente con ciertas disposiciones del mismo.

La Enmienda de Doha contempla obligaciones sólo para los países desarrollados (incluidos en el Anexo I), extendiendo los objetivos de reducción de gases de efecto invernadero para cubrir el periodo 2013-2020.

En esta enmienda se plantean nuevas normas sobre el modo en que los países desarrollados han de llevar la contabilidad de las emisiones procedentes del uso de la tierra y la silvicultura. Además, se incorpora de un séptimo gas de efecto invernadero el Trifluoruro de nitrógeno (NF₃).

2.1.1.5 Acuerdos de París

El Acuerdo de París (AP) es nuevo tratado internacional que se adoptó en 2015 durante la COP21 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Es un acuerdo universal y vinculante que busca mejorar la aplicación de la Convención. Su objetivo es reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza (García-Arbeláez *et al.*, 2016).

Constituye la mayor respuesta global al cambio climático y establece un desafío de naturaleza transformacional que incita a los países a alinear la trayectoria de sus políticas económicas, sociales y de desarrollo a la luz del cambio climático. Compromete a los países a descarbonizar sus economías durante la segunda mitad del siglo y a aumentar su resiliencia, a través de la: Participación Universal en los esfuerzos dirigidos a combatir el cambio climático. Superando el sistema



binario establecido en el Protocolo de Kyoto y aglutinando a todos los países con base en el principio de la acción colectiva (Ibidem).

Se reunieron más de 150 jefes de Estado. En las negociaciones todos los países deben contribuir al esfuerzo global de hacerle frente al cambio climático y establecer una meta de reducción de emisiones (Ibidem).

Las Metas:

1. Limitar el aumento de la temperatura media por debajo de los 2°C por encima de los niveles pre-industriales y proseguir los esfuerzos para limitarlo a 1.5°C.
2. Mejorar la capacidad de adaptación global, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad al cambio climático.
3. Aumentar el flujo de recursos financieros para apoyar la transformación hacia sociedades resilientes y economías bajas en carbono.

Ambiciones Nacionales

- Conceptualizar a las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (CDN) de modo innovador en cuanto combinan: progresividad (ambición siempre incremental), dinamismo (ciclos de planes y evaluaciones que se renuevan cada cinco años) y flexibilidad, pues el AP acepta que cada parte tenga un punto de partida diferente que depende de su propio estadio de desarrollo y de la cantidad de recursos del que disponga.
- Establece un núcleo de disposiciones sobre mitigación mediante las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional. Los países tienen la



obligación de preparar, comunicar y mantener acciones de mitigación con el “fin de alcanzar los objetivos”.

Transparencia

- ✓ Crea un “marco de transparencia reforzado para la acción y el apoyo”. Dado que el énfasis está puesto en las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional voluntarias, gran parte del éxito de la implementación depende de este marco, que permitirá evaluar si se está haciendo lo necesario para alcanzar los objetivos globales.

Implementación

- ✓ Incluye un mecanismo de implementación “no punitiva”. Se destaca la creación de un comité de expertos, no contencioso y transparente para promover el cumplimiento, entre otros mecanismos, operando mediante la provisión de información, el registro público que evidencia la ambición y el nivel de compromiso de cada país, así como la rendición de cuentas.

Para el Acuerdo de Paris (COP21, 2015):

Las Partes en el presente Acuerdo,

Reconociendo la necesidad de una respuesta progresiva y eficaz a la amenaza apremiante del cambio climático, sobre la base de los mejores conocimientos científicos disponibles,

Para el presente proyecto Se está estudiando la captura de uno de los principales gases de efecto invernadero (CO₂), que ayuda en el incremento de la temperatura del planeta.



Artículo 2:

1. *El presente Acuerdo, al mejorar la aplicación de la Convención, incluido el logro de su objetivo, tiene por objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza y para ello:*

a) *Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático,*

b) *Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al cambio climático y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos.*

2.1.2 Instrumentos Nacionales

Hay diferentes instrumentos legislativos que se refieren al bióxido de carbono, no sólo desde el punto de vista de gas de efecto invernadero, también los servicios que brindan los ecosistemas, relacionados a este gas.

2.1.2.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

El *Artículo 4º*, establece que: *“Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este*



derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien provoque en términos de lo dispuesto por la ley”.

El derecho de las personas a un medio ambiente sano implica el adecuado uso y explotación de los recursos naturales, la preservación y restauración del equilibrio ecológico y el desarrollo sustentable, la necesidad de proteger los recursos naturales y la preservación, así como restauración del equilibrio ecológico (Alanís-Ortega, 2013).

2.1.2.2. Planes Ambientales

◆ Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018

En cada sexenio se desarrolla y publica en el Diario Oficial de la Federación (DOF) un Plan Nacional de Desarrollo (2013), en donde se establecen las estrategias nacionales que ayude a incrementar, de manera sostenida e incluyente, el potencial de desarrollo nacional en beneficio de toda la población. Pretende llevar a México a su máximo potencial. Además del crecimiento económico o el ingreso, factores como el desarrollo humano, la igualdad sustantiva entre mujeres y hombres, la salud, educación, participación, política y seguridad, forman parte integral de la visión que se tiene para alcanzar dicho potencial. Esto se relaciona con este trabajo, siendo la investigación como la base para potenciar el desarrollo nacional.

Se proponen cinco Metas Nacionales y tres Estrategias Transversales, cada uno con metas, objetivos, estrategias y líneas de acción para alcanzarlas. Dentro de la meta México Próspero, se buscará elevar la productividad del país como medio para incrementar el crecimiento potencial de la economía y así el bienestar



de las familias. Para ello se implementará una estrategia en diversos ámbitos de acción, con miras a consolidar la estabilidad macroeconómica, promover el uso eficiente de los recursos productivos, fortalecer el ambiente de negocios y establecer políticas sectoriales y regionales para impulsar el desarrollo. Proponiéndose diversos objetivos, en donde encontramos líneas de acción específicas al tema que nos ocupa como son (Plan Nacional de Desarrollo, 2013):

- Promover el uso y consumo de productos amigables con el medio ambiente y de tecnologías limpias, eficientes y de bajo carbono.
- Acelerar el tránsito hacia un desarrollo bajo en carbono en los sectores productivos primarios, industriales y de la construcción, así como en los servicios urbanos, turísticos y de transporte.
- Promover el uso de sistemas y tecnologías avanzados, de alta eficiencia energética y de baja o nula generación de contaminantes o compuestos de efecto invernadero.
- Contribuir a mejorar la calidad del aire, y reducir emisiones de compuestos de efecto invernadero mediante combustibles más eficientes, programas de movilidad sustentable y la eliminación de los apoyos ineficientes a los usuarios de los combustibles fósiles.

◆ **Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC)**

Este sistema debe propiciar sinergias para enfrentar de manera conjunta la vulnerabilidad y los riesgos del país ante el fenómeno y establecer las acciones prioritarias de mitigación y adaptación (INECC, 2018).



Es un instrumento público, de comunicación, colaboración, coordinación y cotejo sobre la política nacional de cambio climático.

La SINACC lo integra la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC); el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC); el Consejo de Cambio Climático (C3); las entidades federativas; las asociaciones de autoridades municipales y el Congreso de la Unión (Ibidem).

Estos integrantes están comprometidos a implementar las acciones necesarias en materia de adaptación y mitigación con el propósito de alcanzar, dentro de los plazos establecidos las metas contempladas en la Ley General de Cambio Climático (Ibidem).

◆ **Estrategia Nacional de Cambio Climático**

Es el instrumento de planeación que define la visión de largo plazo y que además rige y orienta la política nacional con una ruta a seguir que establece prioridades nacionales de atención y define criterios para identificar las prioridades regionales (DOF, 2013).

Identifica medidas, posibilidades y rasgos de reducción de emisiones, propone estudios necesarios para definir metas más precisas de mitigación.

En donde se plantea que el país crezca de manera sostenible y se promoverá el manejo sustentable y equitativo de sus recursos naturales, así como el uso de energías limpias y renovables que le permitan un desarrollo con bajas emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero.



La acción global frente al cambio climático es ineludible e impostergable. Es necesario que todos los países reduzcan de manera conjunta y decidida, las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para evitar que las consecuencias se agraven. Para ello, se propone esta Estrategia Nacional de Cambio Climático, la cual es un instrumento de planeación que define la visión de largo plazo y que rige y orienta la política nacional con una ruta a seguir que establece prioridades nacionales de atención y define criterios para identificar las prioridades regionales (Ibidem).

Los criterios principales para identificar las acciones prioritarias en el corto, mediano y largo plazo, incorpora:

Potencial de Mitigación. Cantidad de emisiones que pueden reducirse o evitarse por la implementación de acciones de mitigación, en comparación con la tendencia y la tecnología actuales.

Cobeneficios ambientales y sociales. Considera aquellos beneficios en la calidad de vida de la población. Ejemplo de estas ventajas son: el acceso a infraestructura de energías renovables para poblaciones marginadas, la disminución de la erosión del suelo ocasionada por programas de reforestación o la reducción en especies nocivas por el mejor manejo de residuos sólidos municipales.

Cobeneficios en salud. Las acciones de mitigación, asociadas a la reducción en el uso de combustibles fósiles, generan ahorros económicos por impactos positivos en la salud. Las acciones enfocadas a la reducción de Contaminantes



Climáticos de Vida Corta (CCVC), son un claro ejemplo de medidas que contribuyen a mejorar la calidad del aire y por tanto a la salud de la población.

- ◆ **Incremento en la productividad nacional.** Un impacto positivo en la productividad nacional que pueden ser difíciles de cuantificar y deben de ser tomados en cuenta. Por ejemplo, la optimización de rutas de transporte masivo reduce los congestionamientos en la infraestructura vial, además disminuyen los tiempos de traslado y los costos de operación de los vehículos y aumentan la eficiencia en la movilidad de los habitantes.

- ◆ **Diagnóstico de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero**

Para 2010, en México se emitieron a la atmosfera gases de efecto invernadero (bióxido de carbono, metano, óxido de nitrógeno), aumentando en un 33%, con respecto a las emisiones de 1990. Las emisiones que mayor crecimiento han tenido son las que provienen de emisiones fugitivas, residuos y transporte, con una tasa media de crecimiento anual, debido a la urbanización y el aumento en la flota vehicular (Ibidem).

- ◆ Asimismo, se tiene gases conocidos también como forzadores climáticos de vida corta, incluyendo: metano, carbono negro, ozono troposférico y algunos hidrofluorocarbonos. Estos contaminantes tienen efectos importantes sobre el clima y un tiempo de vida en la atmosfera más corto que el CO. Teniendo como Ejes Estratégicos y líneas de acción, el transitar a modelos de ciudades sustentables con sistemas de movilidad gestión integral de residuos y edificaciones de baja huella de carbono, siendo que una ciudad sustentable parte de un modelo de desarrollo



capas de regular el territorio, orientando sus uso hacia sistemas eficientes de movilidad, deificaciones de baja huella de carbono y una gestión integral del agua y delos residuos. El enfoque de aplicación de aplicación de políticas es primordialmente de ámbito local.

◆ **Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018**

Este Programa tiene como principal marco de referencia la sustentabilidad ambiental, que es uno de los cinco ejes del PND 2013-2018. Para que se lleven a cabo las actividades de manera sustentable, se requieren de estudios como el presente que dan la base del conocimiento (SEMARNAT, 2013).

El uso del ambiente y sus recursos se ha orientado a satisfacer necesidades inmediatas y a obtener el mayor provecho económico a corto plazo, sin priorizar la eficiencia en su uso o transformación, lo que se ha traducido en un deterioro importante de su capital natural. Para México, un país "megadiverso", la conservación y el aprovechamiento sustentable de su riqueza biológica son una responsabilidad y una prioridad del más alto nivel (Ibidem).

El crecimiento del país ha estado lejos de ser ambientalmente sustentable. Paralelamente al aumento del producto interno bruto (PIB) crecieron las emisiones de bióxido de carbono, (el principal gas responsable del efecto invernadero), la generación de residuos de distintos tipos y la descarga de aguas residuales, a la vez que la cubierta de bosques y selvas se redujo. Esta pérdida y deterioro del capital natural viene acompañada de importantes costos económicos (Ibidem).



El reto que enfrenta el país es establecer y seguir un modelo de desarrollo que permita alcanzar un crecimiento sostenido de la economía que reduzca los niveles de pobreza y que incremente el bienestar y la calidad de vida de todos los ciudadanos sin hipotecar la base de recursos naturales para las generaciones venideras. Esto es básicamente lo que significaría transitar hacia una economía verde que incluya, por supuesto, la creación de los llamados "empleos verdes" (Ibidem).

"Enverdecer" la ruta del crecimiento y desarrollo nacionales, reconociendo el valor del capital natural sobre la economía, será un componente indispensable para avanzar hacia el desarrollo sustentable.

◆ **Comisión Nacional Forestal**

La Comisión Nacional Forestal ha creado programas para implementar distintas actividades productivas y de conservación, como el Pago por Servicios Ambientales, este programa contribuye a conservar los bosques, selvas, manglares, zonas áridas, entre otros ecosistemas y así mantener la provisión de servicios ambientales, contribuyendo al manejo integral del territorio y a las actividades productivas; todo esto a través de un pago convenido por cierto tiempo a las personas dueñas o poseedoras de terrenos forestales (SEMARNAT, 2018).

El Pago por Servicios Ambientales (PSA) fue diseñado para proveer incentivos económicos a los dueños de los terrenos forestales (ejidos, comunidades y pequeños propietarios), en donde se generan dichos servicios, con la finalidad de evitar el cambio de uso del suelo de las zonas forestales, además de fomentar



y apoyar prácticas de conservación y compensar los costos de oportunidad por realizar actividades que dañan los ecosistemas y los gastos en los que incurren al hacer prácticas de buen manejo del territorio (Ibidem).

En México, desde el 2003 la CONAFOR opera el Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) y en el 2004 el Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad para Fomentar el Establecimiento y Mejoramiento de Sistemas Agroforestales (PSA-CABSA) (Ibidem).



2.1.2.3 Leyes

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

La LGEEPA (DOF, 2012) tiene por objeto la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección al ambiente. Es relevante mencionar que siendo una *Ley reglamentaria de las disposiciones de la constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:*

III. La prevención, la restauración y el mejoramiento del ambiente.

IV. La preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas.

En su artículo 2, se considera de utilidad pública, el establecimiento, protección y preservación de las áreas naturales protegidas y de las zonas de restauración ecológica, así como la formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, temas que son abordados en este trabajo.

Asimismo, dice en su artículo 3, inciso II que las Áreas naturales protegidas son “...zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser



preservadas y restauradas y están sujetas al régimen previsto en la presente Ley.

- ◆ Cada capítulo de la Ley, formado por artículos, nos marca en términos generales las características que componen a cada uno de ellos, mostrando las formas en que se debe de llevar a cabo diferentes acciones para que el efecto al ambiente sea mínimo, producido por las personas.

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS)

El objetivo de la LGDFS (DOF, 2015) es regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, cultivo, manejo y aprovechamiento de los recursos forestales del país, con el fin de propiciar el desarrollo sustentable. Se tomarán los criterios y definiciones, para este tipo de trabajo, el cual es útil para dar pie a futuros trabajos con el fin de conservar y dar un manejo adecuado a los bosques.

En el artículo 2° se menciona que son objetivos generales de esta Ley: *Contribuir al desarrollo social, económico, ecológico y ambiental del país, mediante el manejo integral sustentable de los recursos forestales, así como de las cuencas y ecosistemas hidrológico-forestales, sin perjuicio de lo previsto en otros ordenamientos, y uno más que aplica es Desarrollar los bienes y servicios ambientales y proteger, mantener y aumentar la biodiversidad que brindan los recursos forestales.*

- ◆ Mencionando en el artículo 7°, inciso XXXIX, *que los Servicios ambientales: Los que brindan los ecosistemas forestales de manera natural o por medio del manejo sustentable de los recursos forestales,*



tales como: la provisión de agua en calidad y cantidad; la captura de carbono, de contaminantes y componentes naturales; la generación de oxígeno; el amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales; la modulación o regulación climática; la protección de la biodiversidad, de los ecosistemas y formas de vida; la protección y recuperación de suelos; el paisaje y la recreación, entre otros.

Ley General de Cambio Climático (LGCC)

La LGCC (DOF, 2018) tiene como objetivo regular, fomentar y posibilitar la instrumentación de la política nacional de cambio climático e incorpora acciones de adaptación y mitigación.

Determina de manera clara el alcance y contenido de la política nacional de cambio climático, define las obligaciones de las autoridades del Estado y las facultades de los tres órdenes de gobierno, además de establecer los mecanismos institucionales necesarios.

En el artículo 2º, se menciona que dentro de los objetivos de la Ley está *“Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático...”*

También está la regulación *de las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático, así como el fomento a la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático; y promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.”*



2.1.2.4. Normas Oficiales Mexicanas

Se consideró una de las Normas Oficiales Mexicanas, ya que una de las especies a analizar el *Cupressus lusitanica Mill.*, se encuentra dentro de ella en la categoría sujeta a protección especial.

La NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010), está enfocada en la Protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestre, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, lista de especies en riesgo.

Esta Norma Oficial Mexicana (Ibidem), tiene por objeto identificar las especies o poblaciones de flora y fauna silvestres en riesgo en la República Mexicana, mediante la integración de las listas correspondientes, así como establecer los criterios de inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo para las especies o poblaciones, mediante un método de evaluación de su riesgo de extinción y es de observancia obligatoria en todo el Territorio Nacional, para las personas físicas o morales que promuevan la inclusión, exclusión o cambio de las especies o poblaciones silvestres en alguna de las categorías de riesgo, establecidas por la Norma.

Cupressus lusitanica Mill. es una especie sujeta a protección especial (Pr) que indica que son aquellas que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas (DOF, 2010).



2.2 Evaluación de los Ecosistemas del Milenio

En los últimos 50 años, los seres humanos han transformado los ecosistemas de manera rápida y extensa, en comparación con otro periodo de tiempo de la historia humana con el que se pueda comparar, en gran medida para resolver rápidamente las demandas crecientes de alimentos, beneficios netos para el bienestar humano y el desarrollo económico (ONU, 2005).

Tres son los problemas principales relacionados con la gestión de los ecosistemas del mundo, los cuales están causando un perjuicio importante a las personas y disminuirán significativamente los beneficios que obtenemos de los ecosistemas a largo plazo (Ibidem):

- Aproximadamente el 60% de los servicios ecosistémicos se están degradando o se usan de manera no sostenible. Muchos servicios de los ecosistemas se han degradado como consecuencia de actuaciones llevadas a cabo para aumentar el suministro de otros servicios, como los alimentos.
- Se ha establecido, aunque los datos están incompletos, que los cambios que se han hecho en los ecosistemas están aumentando la probabilidad de cambios no lineales en los mismos (incluidos cambios acelerados, abruptos y potencialmente irreversibles), que tienen consecuencias importantes para el bienestar humano. Algunos ejemplos de estos cambios son la aparición de enfermedades, las alteraciones bruscas de la calidad del agua, la creación de “zonas muertas” en las aguas



costeras, el colapso de las pesquerías y los cambios en los climas regionales.

- La degradación de los servicios de los ecosistemas está contribuyendo al aumento de las desigualdades y disparidades entre los grupos de personas, lo que, en ocasiones, es el principal factor causante de la pobreza y del conflicto social. Esto no significa que los cambios en los ecosistemas, como el aumento de la producción de alimentos, no hay contribuido también a que muchas personas salgan de la pobreza o del hambre, pero esos cambios han perjudicado a muchos otros individuos y comunidades, cuya apremiante situación muchas veces se ha pasado por alto. En todas las regiones, la situación y la gestión de los servicios de los ecosistemas es un factor decisivo en las perspectivas de reducción de pobreza.

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Reid, 2003), es un programa de trabajo internacional que ha sido diseñado para cumplir con las necesidades de quienes toman las decisiones y el público, para la información científica relacionada con las consecuencias del cambio en los ecosistemas y las opciones para responder a dichos cambios.

El objetivo de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio fue valorar las consecuencias del cambio del ecosistema en el bienestar de los seres humanos y la base científica para la realización de acciones necesarias para elevar la conservación y el uso sostenible de dichos sistemas.



La Evaluación se enfoca en la condición de los servicios del ecosistema-es decir los beneficios que la gente obtiene de ellos- en el presente y los posibles efectos futuros de los cambios en los servicios del ecosistema en el bienestar humano, así como las opciones de respuesta posibles a niveles locales, nacionales o globales para mejorar el manejo de ecosistemas y así contribuir en el bienestar de la gente y la mitigación de la pobreza.

En el centro de la Evaluación hay una importante percepción de que las acciones humanas están desgastando el capital natural de la Tierra, poniendo dicha distensión en el medio ambiente ya que la habilidad de los ecosistemas del planeta para sostener a las generaciones futuras ya no puede ser ignorada. Al mismo tiempo, la evaluación muestra que, dentro de las acciones adecuadas, es posible dar marcha atrás a la degradación de muchos servicios de ecosistemas durante los próximos 50 años, pero los cambios en la política y la práctica que se requieren son sustanciales y actualmente no se llevan a cabo.

Los resultados principales de la Evaluación se pueden resumir de la siguiente manera:

- a) Durante los últimos cincuenta años, los seres humanos han cambiado os ecosistemas más rápida y extensivamente que en ningún otro periodo comparable de la historia humana, principalmente para cumplir con las demandas crecientes de alimento, principalmente para cumplir con las demandas crecientes de alimento, agua dulce, madera, fibra y combustible. Esto se ha traducido en una pérdida sustancial y tremendamente irreversible de la diversidad de la vida en la Tierra.



- b) Los cambios hechos en los ecosistemas han contribuido a las ganancias netas importantes en el bienestar de los seres humanos y el desarrollo económico, pero estas ganancias han sido logradas con los altos costos en la forma de la degradación de muchos servicios de ecosistemas, riesgos crecientes de cambios no lineales y al agravio de la pobreza para diversos grupos de gente. A menos que sean atendidos, estos problemas disminuirán de manera sustancial, los beneficios que las futuras generaciones puedan obtener de los ecosistemas.
- c) La degradación de los servicios de los ecosistemas podría empeorar de manera significativa durante la primera mitad del siglo XXI y esto significa una barrera para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Los cambios hechos en los ecosistemas han contribuido a las ganancias han sido logradas con altos costos en la forma de la degradación de muchos servicios de ecosistemas, riesgos crecientes de cambios no lineales y el agravio de la pobreza para diversos grupos de gente. A menos que sean atendidos, estos problemas disminuirán de manera sustancial, los beneficios que las futuras generaciones puedan obtener de los ecosistemas:
- d) El reto de dar marcha a tras a la degradación de los ecosistemas mientras se cumple con las demandas crecientes de servicios se puede realizar parcialmente bajo algunos escenarios considerados por la Evaluación, pero involucrarán cambios significativos en las políticas, instituciones y prácticas que actualmente no están en funcionamiento. Existen muchas opciones para conservar o incrementar los servicios de los ecosistemas



específicos de manera en que se reduzcan los intercambios negativos o que se ofrezcan sinergias positivas con otros servicios de ecosistemas.

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, como el Panel Mundial Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), evalúa el conocimiento, la literatura científica y los datos actuales. De este modo. La Evaluación sintetiza la información que está disponible y no lleva a cabo nuevas investigaciones. Sin embargo, tres aspectos de la Evaluación representan nuevas contribuciones importantes (PNUMA, 2005):

- 1) Los resultados de esta evaluación son una visión en consenso del grupo más grande de científicos sociales y naturales que jamás se haya formado para evaluar el conocimiento de esta área. Al igual que el IPCC, la disponibilidad de esta amplia visión en consenso de los científicos es parte importante de “valor agregado” del proceso y una contribución importante para quienes toman decisiones. Esta evaluación identifica en donde existe el consenso amplio sobre los resultados, pero también en qué lugar la información es insuficiente para llegar a conclusiones firmes.
- 2) El enfoque de esta evaluación sobre los servicios de ecosistemas y su enlace con el bienestar y el desarrollo humano son únicos. Al examinar el medio ambiente a través del marco de los servicios de ecosistemas, es más fácil identificar la manera en que los cambios tienen influencia en el bienestar humano ya que han sido adoptados por otras instituciones y han sido incorporados en otros procesos. Asimismo, contribuye con la evolución de un marco de decisiones más riguroso dentro del cual, los



creadores de políticas pueden tomar decisiones acerca de los usos de los sistemas y recursos naturales.

3) La Evaluación ha identificado una cantidad de resultados “emergentes”, conclusiones que sólo pueden obtenerse cuando una extensa cantidad de información existente se examina en conjunto. Cuatro de dichos resultados destacan:

- i. La hoja de balance. Aunque los servicios de ecosistemas individuales han sido evaluados con anterioridad, el descubrimiento de que el 60% de un grupo de 24 servicios de ecosistemas examinados por la Evaluación se están degradando es la primera revisión comprensiva del estado del capital natural de la Tierra.
- ii. Cambios no lineales. Los cambios no lineales (-apresurados o abruptos) han sido identificados previamente por diversos estudios individuales de ecosistemas. La Evaluación es a primera evaluación que concluye que los cambios en los ecosistemas están incrementando la probabilidad de cambios no lineales en los mismos y, la primera en notar que hay consecuencias importantes de dicho descubrimiento para el bienestar humano. Ejemplos de dichos cambios incluyen el surgimiento de enfermedades, alteraciones abruptas en la calidad del agua, la creación de “zonas muertas” en aguas costeras, el colapso de la pesca y cambios en el clima regional



- iii. Tierras áridas. Debido a que la evaluación se enfoca en los enlaces entre los ecosistemas y el bienestar humano, un grupo de prioridades distintas surge de ello. Mientras la Evaluación confirma que los problemas principales existen con los bosques tropicales y los arrecifes de coral, desde el punto de vista de los enlaces entre ecosistemas y gente, los retos más significativos involucran a los ecosistemas de tierra árida. Estos ecosistemas son particularmente frágiles, pero, también son los lugares en donde la población humana crece con mayor rapidez, la productividad biológica está al final y la pobreza está en la cima.
- iv. Carga de nutrientes. La Evaluación confirma el énfasis que los tomadores de decisiones le están dando al abordar los conductores importantes del cambio en el ecosistema, tales como el cambio climático y la pérdida del hábitat. Sin embargo, la Evaluación considera que la carga excesiva de nutrientes en los ecosistemas es uno de los conductores principales hoy en día y que empeorará de manera significativa en las próximas décadas, a menos que se tome acción. Aunque haya sido muy bien estudiado, el tema de la carga excesiva de nutrientes aun no recibe atención significativa en las políticas en muchos países o a nivel internacional.

2.3. Conservación de Ecosistemas Forestales

En los diferentes ecosistemas terrestres se presenta carbón almacenado en árboles, vegetación subsidiaria, suelo y productos obtenidos (se mide en



toneladas por hectárea) y existe además un flujo de carbono, que es la corriente de carbono entre el que está contenido en el ecosistema y el que está en la atmósfera (Pardos, 2010).

Los ecosistemas forestales son componentes importantes del ciclo del carbono terrestre debido a su capacidad para almacenar cantidades mucho mayores de carbono que otros ecosistemas terrestres (McKinley *et al.*, 2011; Gray y Whittier, 2014). Los ecosistemas terrestres representan un importante sumidero de carbono que anualmente elimina de la atmósfera aproximadamente el 29% de las emisiones mundiales de combustibles fósiles y de cambio de uso de la tierra. La cuantificación precisa del carbono y su dinámica son un componente crítico de los esfuerzos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar los efectos del cambio de clima proyectado, a través del manejo del bosque (White *et al.*, 2005; Seidl *et al.*, 2012; Russell *et al.*, 2015, Ma, 2017).

La proporción de carbono acumulado en suelo y vegetación varía entre ecosistemas y tipos de bosques, el potencial de secuestro de carbono de un sistema forestal depende del contenido inicial en carbono orgánico, de las tasas de crecimiento y edad del rodal, así como de su capacidad biológica. El contenido de carbono en los bosques está estimado en 1.640 Gt (Sabine *et al.*, 2004) y es equivalente a un 220% del carbón atmosférico (Pardos, 2010).

Los bosques cubren aproximadamente 27% de la superficie terrestre, entre bosques templados, boreales y tropicales y contienen 77% de la biomasa viva; se estima que el 80% del carbón que se intercambia entre la atmósfera y la



vegetación y suelo, proviene de los bosques (Tabla 1; Pardos, 2010), así como del almacenado (Masera *et al.*, 1997).

Biomás	Superficie (10 ⁶ km ²)	Vegetación (Gt C)	Suelo (Gt C)	Total (Gt C)	Densidad Total (t C ha ⁻¹)
Bosques templados (EEUU, Europa, China, Australia)	10,38	59,00	100,00	159,00	153,00
Bosques boreales (Rusia, Canadá, Alaska)	13,72	88,00	471,00	559,00	407,00
Bosques tropicales (Asia sin China, África, Sudamérica)	17,55	212,00	216,00	428,00	275,00
Sabanas tropicales	22,50	66,00	264,00	33000	146,00
Pastizales templados	12,50	9,00	295,00	304,00	243,00
Tundra, pastos alpinos	9,50	6,00	121,00	127,00	134,00
Desiertos/semidesiertos	45,50	8,00	191,00	199,00	164,00
Ciénagas/z.pantanosas	3,50	15,00	225,00	240,00	686,00
Cultivos	16,00	3,00	128,00	131,00	82,00
Total	151,15	466,00	2.011,00	2.477,00	164,00

Tabla 1. Superficie y contenido en carbono en suelo y vegetación de diferentes biomas (WBGU, 1998; Pardos, 2010)

El clima es uno de los factores que delimitan la distribución de las plantas. Cada especie requiere de ciertas condiciones de temperatura, humedad y luz, para germinar, crecer, florecer y fructificar. Cada especie tiene un intervalo de tolerancia a diversos factores ambientales; el cambio en el clima exige una adaptación a las nuevas condiciones (Dawson y Spannagle, 2009).

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), la intensa transformación del hombre sobre el medio natural ha incrementado la emisión de gases de invernadero a la atmósfera, provocando un aumento de la temperatura de la Tierra, específicamente en los últimos 100 años (IPCC, 2001, 2007). A partir de estos cambios se han identificado efectos en los sistemas



naturales, que se relacionan con el calentamiento global, (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2001).

El cambio climático supone una de las principales alteraciones al funcionamiento de los ecosistemas. Los ecosistemas forestales son el hábitat de una importante diversidad biológica (Pardos, 2010), además, desarrollan funciones ambientales como la captura de carbono, la regulación del ciclo hidrológico la captura y almacenamiento de agua, la generación y conservación de suelos, entre otros y proporcionan numerosos bienes para las poblaciones humanas, tales como alimentos y medicinas.

La destrucción acelerada de los bosques es una de las mayores preocupaciones en el ámbito global y nacional desde hace más de tres décadas (Gómez-Pompa *et al.*, 1972; Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeife, 2010).

Los gases de efecto invernadero impactan directamente a los bosques, afectando la expresión genética, los procesos fisiológicos, el crecimiento, la productividad y competencia, además los GEI tienen efectos en los procesos de los nutrientes y ciclo del agua en los ecosistemas forestales (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2001).

El bióxido de carbono y el ozono afectan directamente la productividad de las plantas y bosques a pesar de que sus efectos son opuestos. El bióxido de carbono estimula la actividad fotosintética. El ozono es un gas tóxico para todos los organismos (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2001).

La ubicación y la forma del territorio de México (relieve, geología, hidrografía, clima, suelo), han hecho que el país tenga una gran diversidad de ambientes lo



cual se refleja en la biota que se desarrolla en su territorio, por ello, se encuentran representados prácticamente todos los biomas existentes conocidos (Rzedowski, 2006; González-Medrano, 2003), que se extienden sobre una superficie de 140 millones de hectáreas. Esta extensión equivale a 73% del territorio nacional. Los ecosistemas que ocupan la mayor parte de esta superficie son los matorrales xerófilos (41%), los bosques templados (24%) y las selvas (23%).

En los últimos años, los ecosistemas forestales han cobrado importancia y reconocimiento, debido a su biodiversidad, a los servicios ambientales, a los múltiples productos que generan, así como por aportaciones a las estrategias de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático y su papel esencial para desarrollo del país (SEMARNAT, 2016, Yuan, 2018).

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2014) busca la armonización del manejo forestal con la conservación de biodiversidad a través de diversas acciones, como la Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad 2013-2018 (ENAIPROS) (CCMSS, 2013).

Además, se instrumenta la conservación activa mediante el Pago por Servicios Ambientales en ecosistemas de alto valor de conservación y la restauración integral de ecosistemas con especies nativas y un enfoque productivo (SEMARNAT, 2016).

Los bosques se encuentran sujetos a un gran número de amenazas. Las principales, son la conversión de hábitats naturales a tierras agrícolas y pastos,



la degradación de los bosques como consecuencia de la sobreexplotación de la extracción de madera y caza (Laurance y Peres, 2006). Los factores que han provocado los cambios son de origen político, social y económico, ejemplo de ellos son, la expansión e intensificación generalizada de monocultivos (Cayuela y Granzow-de la Cerda, 2012).

La destrucción acelerada de los bosques es una de las mayores preocupaciones en el ámbito global y nacional desde hace más de tres décadas (Janzen, 1988; Myers, 1994; Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa, 2010).

El bióxido de carbono y otros gases con efecto invernadero afectan directamente a los procesos biológicos en los árboles y a la ecología de los ecosistemas forestales (Karnosky *et al.*, 2001; WBGU, 2014).

Cuando el bióxido de carbono atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, éste participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (e.g. follaje, ramas, raíces y tronco). El árbol al crecer va incrementado su follaje, ramas, flores, frutos, yemas de crecimiento (que en su conjunto conforman la copa); así como altura y grosor del tronco. La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas dando lugar a una competencia entre las copas de los árboles por la energía solar, originando a su vez 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, a su vez, aporta nuevamente bióxido de carbono al entorno (Ordóñez, 1999).



Simultáneamente los troncos, al incrementar su diámetro y altura, alcanzan un tamaño tal que puedan 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 bióxido de carbono producto de su descomposición a la atmósfera (Ordóñez, 1999).

Finalmente, durante el tiempo en que el carbono se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es reemitido (ya sea al suelo o a la atmósfera), se considera que se encuentra almacenado.

En el momento de liberación, ya sea por la descomposición de la materia orgánica y/o la quema de la biomasa, el carbono fluye para regresar a su ciclo (Ordóñez, 1999).



2.4. Áreas Naturales Protegidas (ANP)

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) fueron creadas para preservar la belleza escénica natural (Halffter, 2011).

Sin embargo, algunos autores definen una ANP como aquella zona que se enfoca esencialmente en la conservación y preservación de su biodiversidad (González-Ocampo *et al.*, 2015).

México cuenta con 182 Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2017) y se ha creado un sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, el cual es un instrumento normativo integrador de la Política Nacional de Conservación entendiéndose como la preservación y uso racional de los recursos naturales y culturales de diversas regiones del país, bajo los diversos esquemas de protección en el ámbito federal.

El estado de México cuenta con 88 Áreas Naturales Protegidas, es la entidad con el mayor número de ellas en el país. En total suman 983,984.04 ha, las cuales representaban aproximadamente el 43.75% del territorio estatal. Dentro de estas se encuentra el Área Natural Protegida con categoría de Parque Estatal “Cerro El Faro” y “Cerro De Los Monos” (Gobierno del estado de México, 2014)

Se cuenta con nueve parques nacionales, 51 parques estatales, cinco parques municipales, una reserva ecológica federal, once reservas ecológicas estatales, dos áreas de protección de flora y fauna, un área de protección de recursos naturales, un parque urbano, siete parques sin decreto.



Según la definición que se presenta en la LGEEPA (DOF, 2012) , en el Artículo 3º, fracción II, las Áreas Naturales Protegidas son *“Las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas y están sujetas al régimen previsto en la presente Ley”*.

De acuerdo con el Artículo 45, *“El establecimiento de áreas naturales protegidas tiene por objeto:*

I. Preservar los ambientes naturales, representativos de las diferentes regiones biogeográficas y ecológicas y de los ecosistemas más frágiles, para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos.

IV. Proporcionar un campo propicio para la investigación científica y el estudio de los ecosistemas y su equilibrio.

Artículo 46. Se consideran áreas naturales protegidas:

IX. Parques y Reservas Estatales, así como las demás categorías que establezcan las legislaciones locales.

2.5. Servicios Ecosistémicos

La quema de combustibles fósiles, la deforestación, la agricultura y ganadería, han contribuido al aumento dramático en la cantidad de gases de efecto invernadero como es el bióxido de carbono (IPCC 2001b, 2007a, 2011), los cuales se ha considerado que modifican el clima en el planeta.



Los ecosistemas forestales juegan un papel fundamental en la regulación de los cambios climáticos y de sus impactos, debido al gran tamaño de los árboles y a la proporción de la superficie del planeta que ocupan contienen más de 80% del carbono global de las superficies como fuentes, sumideros y reservorios (Sánchez y Rosales-Méndez, 2003).

Es posible afirmar que existe una definición de servicio ecosistémico ampliamente reconocida a partir del trabajo realizado por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2003), aunque algunas legislaciones identifican y enumeran de aspectos que están considerados como servicios ambientales (LGEEPA, 2012). A nivel académico no está establecido de forma clara y definitiva el límite entre uno y otro, siendo recurrente en la literatura el uso indiscriminado de ambos términos (Mora-Vega, 2012).

El término Servicio Ecosistémico, es el más extendido, principalmente en la literatura relacionada con ecología y servicio ambiental, es usado comúnmente en la literatura económica (Mora-Vega, 2012).

Los servicios ecosistémicos (SE) son los beneficios que las personas y las sociedades obtienen de los ecosistemas de los cuales dependen (MEA, 2003).

Dependiendo del enfoque en que se quiera estudiar, se han dividen en ciencias naturales y económicas (Raudsepp-Hearne *et al.* 2010).

Una de las aproximaciones para clasificar los SE es la derivada de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2003), tratando de integrar en el concepto de servicio ecosistémico, la sustentabilidad ecológica, la conservación y el bienestar humano, dentro de esta clasificación, se ofrecen servicios de soporte,



regulación, aprovisionamiento y culturales, con la intención de facilitar la toma de decisiones (MEA, 2005; Rodríguez *et al.* 2006).

De acuerdo SPDA (2011), los beneficios que proveen dichos servicios pueden clasificarse de distintas formas. Por ejemplo, atendiendo a la relación entre el ecosistema y la provisión del servicio estos beneficios pueden ser de dos tipos:

Directos: Entre ellos están, la producción de agua o alimentos (servicios de aprovisionamiento), regulación de ciclos hídricos o de degradación de suelos, plagas y enfermedades (servicios de regulación).

Indirectos: Se relacionan con el funcionamiento de procesos del ecosistema que genera los servicios directos, como el proceso de fotosíntesis y el ciclo de nutrientes, entre otros.

Estos servicios otorgados por dichos ecosistemas, tales como el control de la erosión, el mantenimiento de cauces de ríos, el secuestro de carbono, entre otros, son denominados servicios ambientales.

En los servicios ecosistémicos, se integran los beneficios, tangibles e intangibles, que se derivan de la naturaleza para provecho del ser humano y que de acuerdo con ciertos criterios pueden ser valorados económicamente, a fin de equipararlos de alguna manera con actividades económicas que implican cambios de uso de suelo y de esta manera, contar con argumentos adicionales para su conservación y manejo. El reconocimiento y evaluación de dichos beneficios permite una mejor interpretación de sus bienes y determinar los cambios que inciden en el bienestar humano (Constanza *et al.* 1997).



La transformación de los ecosistemas genera beneficios para la sociedad humana, sin embargo, conlleva costos ambientales y en consecuencia, económicos. En la mayoría de los casos, estos costos, no son inmediatos, se manifiestan a largo plazo (Jiménez-Sierra *et al.*, 2010).

Ya que los servicios ambientales son vulnerables a las diversas actividades humanas, es necesario diseñar metodologías de evaluación para los antes mencionados, de tal forma, que se pueda determinar el estado actual en que se encuentran y sobre todo la tendencia que puedan tener a través del tiempo, con el objetivo de poder determinar la sostenibilidad de un ecosistema.

Según Quiroga (2007), el desarrollo de herramientas de evaluación siempre será indispensable para la valoración permanente de los servicios ambientales, como es el caso de los indicadores de sostenibilidad, que se interpretan como un sistema de señales que facilita la evaluación de los procesos de desarrollo.

Económicamente, existen diversas metodologías para asignar valor a los servicios ambientales, Farber *et al.*, (2002) y de Groot *et al.*, (2012), proponen diferentes estrategias:

- Costos de reemplazo
- Costos evadidos
- Factor de ingreso
- Costos de viaje
- Valoración contingente
- Valoración de grupo
- Transferencia de valor



- Valoración biológica
- Análisis hedónico

De acuerdo con Torres y Guevara, (2002): debido a una enorme cantidad de factores, la producción de servicios ambientales se ve día a día amenazada por el uso de prácticas no sustentables de manejo de recursos forestales. Existen muchas razones por las cuales no se generan señales a favor de la conservación de los recursos naturales y con ella una producción sostenida de servicios ambientales. Los principales son:

- i) No tienen un mercado definido
- ii) Se conoce muy poco acerca de su cuantía o su relación con las características y procesos desarrollados en las áreas naturales.

La falta de un mercado provoca que no exista un precio que refleje cuánto cuesta producirlos, razón por la cual la sociedad actúa como si no costará nada destruirlos, o como si existieran en cantidades ilimitadas.

El desconocimiento de las relaciones de producción entre cantidad de servicios producidos y características de las áreas naturales limita el número de alternativas de manejo que aseguren la sustentabilidad de estas áreas.

Ambos problemas conducen a una sobreutilización de los bienes y servicios derivados de las áreas naturales que sí tienen mercado, dando por resultado un eventual agotamiento de estas regiones y la consecuente reducción en la producción de servicios ambientales.



2.6. Gases de efecto invernadero

La atmósfera se deteriora por la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI), resultante del uso de combustibles fósiles, incremento desordenado de las industrias, expansión de la ganadería y deforestación (Ramírez y León, 2004).

Entre los contaminantes atmosféricos que se presentan son el bióxido de carbono, monóxido de carbono, bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, metano, amonio y ozono, emanados en su mayoría por la industria, los automotores, las refinerías y las termoeléctricas, así como los sistemas agrícolas (Pérez-Vázquez y Landeros Sánchez, 2009).

La composición química de la atmósfera incluye mayoritariamente a sólo dos gases, Nitrógeno (N_2), en un 79% y Oxígeno (O_2), en un 20%. El 1% restante está formado por diversos gases, principalmente Argón (Ar) en un 0.9% y bióxido de Carbono (CO_2) en aproximadamente un 0.03%, entre otros (Caballero, *et al.*, 2007).

El efecto invernadero es el fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de una atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar. Como producto de la industria, la concentración de dichos gases puede verse modificada por la actividad humana, además de que se producen algunos gases artificiales, que también afectan al planeta (Benavides-Ballesteros y León-Aristizabal, 2007).

La composición de la atmósfera afecta de manera fundamental al clima; mientras más gases de invernadero como el bióxido de carbono se encuentren en la



atmósfera terrestre, mayor será la temperatura global del planeta y mientras menos haya más fría será la Tierra (Caballero, *et al.*, 2007).

De acuerdo con la mayoría de la comunidad científica, el efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión de ciertos gases (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2001), ejemplo de ellos son el bióxido de carbono y el metano, que se producen principalmente a la actividad humana.

Los gases de efecto invernadero son el Vapor de agua (H₂O), el Bióxido de Carbono (CO₂), Hidrofluorocarbonos (HFC), los Perfluorocarbonos (PFC) y el Hexafluoruro de azufre (SF₆).

Los gases de efecto invernadero más importantes son bióxido de carbono, óxido nitroso, metano y fluoroclorocarbonos, los cuales afectan indirectamente en el aumento de la temperatura, humedad y lluvias en una determinada región (Ramírez y León, 2004).

El incremento rápido de las emisiones de gases de efecto invernadero y las dificultades de reducir en forma sustantiva el incremento de GEI, acentúan el problema del aumento en la temperatura del planeta y con ellos el cambio climático (Bolin *et al.*, 1986; IPCC, 1995; Ordóñez y Macera, 2001).

En México los principales emisores de gases de efecto invernadero son el sector de energía, por el uso de combustibles fósiles (Gay & Martínez, 1995), el cambio en el uso de suelo y forestería (Masera *et al.*, 1995b), y a los procesos de la industria cementera (Gay & Martínez, 1995). Para el año 2014 México contribuye con 480.271 kilotoneladas de emisiones de bióxido de carbono (Banco Mundial, 2014).



Diversos autores a lo largo del tiempo afirman que el bióxido de carbono es uno de los gases de efecto invernadero más importantes y que afectan a la atmósfera (Schneider, 1989; Masera 1995).

2.7 Ciclo del carbono

Los animales y las plantas utilizan los carbohidratos en el proceso de respiración, usando la energía contenida en los carbohidratos y emitiendo bióxido de carbono. Junto con la descomposición orgánica (forma de respiración de las bacterias y hongos), la respiración devuelve el carbono, biológicamente fijado en los reservorios terrestres (los tejidos de biota, el permafrost del suelo y la turba), a la atmósfera. Es posible verificar que el mayor cambio entre el depósito terrestre y el atmosférico resulta de los procesos de fotosíntesis y respiración. Los días de primavera y verano, las plantas absorben luz solar y bióxido de carbono de la atmósfera y, paralelamente, los animales, plantas y microbios, a través de la respiración, devuelven el CO₂. Cuando la temperatura o la humedad son mucho más bajas, por ejemplo, en invierno o en los desiertos, la fotosíntesis y la respiración se reduce o cesa, así como el flujo de carbono entre la superficie terrestre y la atmósfera (Saugier y Pontailier, 2006).

Debido a la declinación de la Tierra y a la desigual distribución de la vegetación en los hemisferios, existe una flotación a lo largo del año que es visible en los diversos gráficos de variación de concentración anual del bióxido de carbono, como por ejemplo en la curva de Keeling. En 1958, el científico Charles David Keeling (oceanógrafo del Scripps Institute of Oceanography), puso en marcha una serie de experiencias en el monte Mauna Loa, Hawaii, que le permitieron



medir, con bastante precisión, la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera.

Entender el ciclo global del carbono y su perturbación por las actividades antropogénicas es importante para el desarrollo de estrategias viables para la mitigación del cambio climático (Fig. 2; Rattan, 2008).

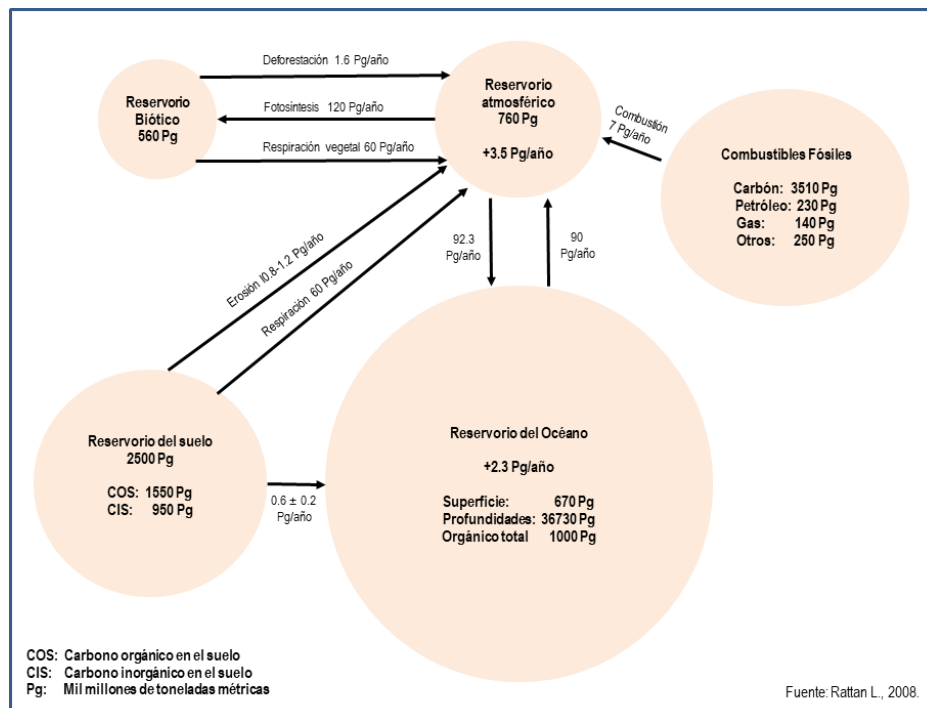


Figura 2. Principales reservorios de carbono (modificado por Pineda, (s/a), de Rattan, 2008)

Una de las maneras para reducir las altas concentraciones de bióxido de carbono que es uno de los más grandes problemas hoy en día es la captura y el secuestro. La captura se refiere a retirar el bióxido de carbono de la atmósfera y el secuestro se refiere al almacenamiento en el mediano y largo plazo.



Se tienen los sumideros de carbono que son sitios donde el carbono es capturado y almacenado, para el caso de la captura de carbono biótica es la transferencia del bióxido de carbono atmosférico, llevado a depósitos bióticos y edafológicos (Rattan, 2008). Los ecosistemas eco-terrestres constituyen un sumidero importante de carbono debido a la fotosíntesis y almacenaje de bióxido de carbono en la materia orgánica viva o muerta. Además, que registran otros beneficios como es el mejoramiento del suelo (ídem).

Según Mooney *et al.* (1999), la capacidad de los ecosistemas terrestres para funcionar como sumideros de carbono depende, de manera importante, del “efecto de fertilización” debido al aumento en la concentración del bióxido de carbono en la atmósfera y a la deposición del nitrógeno atmosférico, que se ha emitido en exceso por diversas actividades humanas. El efecto de fertilización por el bióxido de carbono es posible ya que su concentración atmosférica actual limita la capacidad productiva de las plantas. Existe evidencia de que dicho efecto de fertilización aumenta el crecimiento de las plantas en condiciones naturales, aunque no en las magnitudes en las que los estudios fisiológicos con plantas individuales y en condiciones controladas sugerían. El efecto de la fertilización por nitrógeno se debe a que la disponibilidad de este elemento limita la productividad primaria de muchos ecosistemas terrestres (Schlesinger, 1997).

Los reservorios de bióxido de carbono terrestres y atmosféricos son los que más estrechamente se encuentran interactuando. La tasa anual de la fotosíntesis equivale a 120 PgC, pero la mayoría de este es regresado a la atmósfera a través de las plantas y la respiración del suelo. En la siguiente figura (Fig. 3) se presenta esta relación:

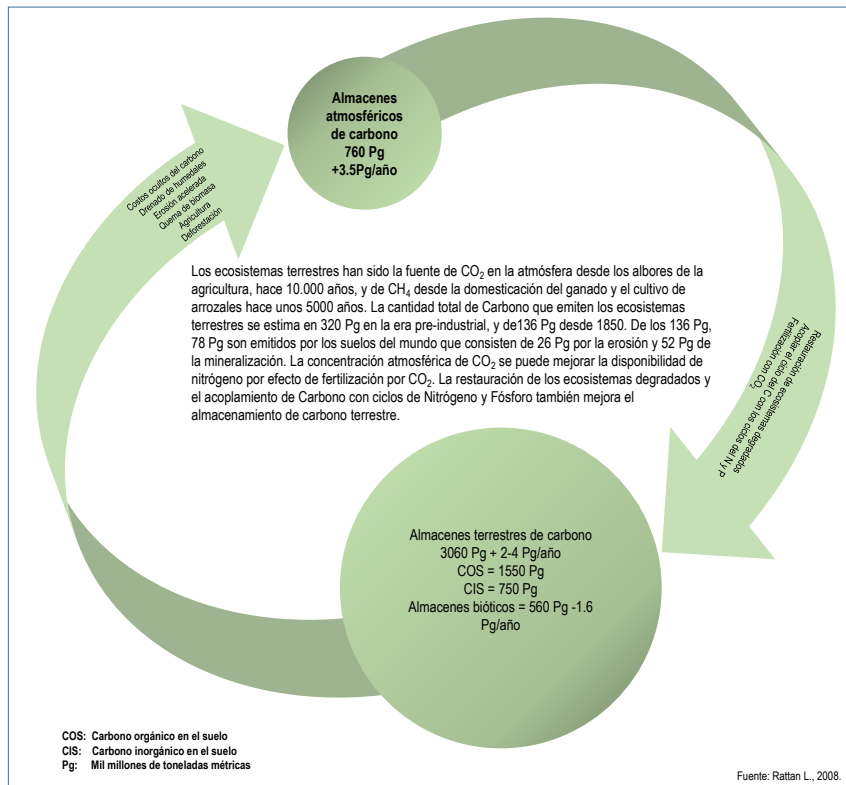


Figura 3. Almacenes de carbono (modificado por Pineda, (s/a), de Rattan, 2008)

La vegetación arbórea cobra importancia, al ser la encargada de incorporar el carbono contenido en el bióxido de carbono atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis en diversas condiciones de luz, agua, temperatura, suelo y densidad (Warrick *et al*, 1989).

Una vez que el bióxido de bióxido de carbono atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, éste participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco) (Ordóñez, 1998 y 1999). El proceso biológico de la fotosíntesis



al capturar las moléculas libres de carbono disminuye su concentración en la atmósfera y en consecuencia mitiga el efecto de invernadero y cambio climático.

Estos gases en la atmósfera proporcionan elementos necesarios el desarrollo y el crecimiento de las plantas en altura, diámetro, área basal y diámetro de copa de los bosques principalmente. El carbono se deposita en follaje, tallos, y sistemas radiculares y en el tejido leñoso de los troncos y ramas de los árboles. Estos componentes aportan materia orgánica al suelo y al degradarse dan origen al humus, que a su vez contiene bióxido de carbono. Por esta razón, los bosques son considerados importantes reguladores en el nivel de carbono atmosférico (Hipkins, 1984; Ordóñez 1998, 1999). Los árboles actúan como sumideros o almacenes de carbono y liberan oxígeno (O₂), reteniendo el carbono en la biomasa, principalmente en la madera. La madera contiene un 48% de lignina y celulosa; para almacenar una tonelada de carbono es necesario producir 2.2 toneladas de madera (FWPRDC, 1996). Al quemarse la madera el proceso se revierte, usando el O₂ del aire y el carbono almacenado en la madera para liberar al final bióxido de carbono. Los bosques pueden ser sumideros, pero también fuentes de carbono, esto dependerá de cómo y con qué propósito sean manejados y cómo sean utilizados sus productos (Chaturveni, 1994).

- **Bióxido de carbono**

El bióxido de carbono es un gas producido principalmente por uso de combustible fósil (petróleo, gas, carbón, etc.) y por el cambio de uso de la tierra (deforestación). Este gas contribuye a mantener una temperatura constante dentro de la tierra, sin embargo, es responsable de casi el 76% del calentamiento



global previsto para los próximos años. El elemento que más contribuye al efecto invernadero acentuado (Petit, 1999, INECC, 2018).

Actualmente la concentración de bióxido de carbono es mayor a 400 ppm, esto es el valor más alto que se ha alcanzado en la historia de la humanidad

De manera natural las plantas por medio de la fotosíntesis fijan bióxido de carbono, en el tejido vivo (primero de plantas y luego de animales). La cantidad de bióxido de carbono fijada en tejido vivo (o biomasa) es normalmente devuelta a la atmósfera por medio de la respiración de los organismos, sin embargo, con frecuencia la fotosíntesis excede por poco a la respiración, con lo cual los seres vivos funcionan como un depósito de carbono que secuestra bióxido de carbono de la atmósfera y lo guarda en la biomasa, la que se concentra principalmente en los bosques y selvas. La biomasa al morir puede ser almacenada en los suelos o sedimentos y eventualmente sepultada, de manera que la biomasa antigua puede transformarse en carbón o petróleo (Field and Raupach, 2004).

Entre los diversos Gases de Efecto Invernadero (GEI) destacan aquellos que son el resultado directo de la actividad humana, estos GEI son el metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), gases fluorados y bióxido de carbono (bióxido de carbono). Este último es el que en mayor cantidad se genera por la actividad del hombre y al que más atención se le ha dado (García *et al.* 2007).

Se ha observado que la temperatura del planeta ha ido incrementado de manera gradual, en las últimas décadas, esto es debido a la concentración de gases de efecto invernadero. La medición rutinaria de la temperatura atmosférica en estaciones meteorológicas ha permitido el monitoreo de esta variable en



diversas regiones del planeta desde finales del siglo XIX. Gracias a ello se ha encontrado que la temperatura media del planeta ha experimentado un incremento significativo de casi 0.5°C , si tomamos como nivel base la temperatura media registrada entre los años 1961 a 1990, se ha registrado el aumento de casi un grado C, en comparación con la segunda mitad del siglo XIX (Caballero, *et al.*, 2007).

El Departamento de Energía de los Estados Unidos de Norteamérica, tiene desde 1959 el Programa de Medición de bióxido de carbono, el cual es patrocinado por la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) (SCRIPPS CO_2 PROGRAM, 2018), en este programa se mide diariamente en el observatorio Mauna Loa ubicado en Hawaii las concentraciones de bióxido de carbono. En 1959 se tenía una concentración promedio de 315.97 ppm y para mayo de 2018 se tiene una concentración de 410 ppm (Ibidem, Fig. 4).

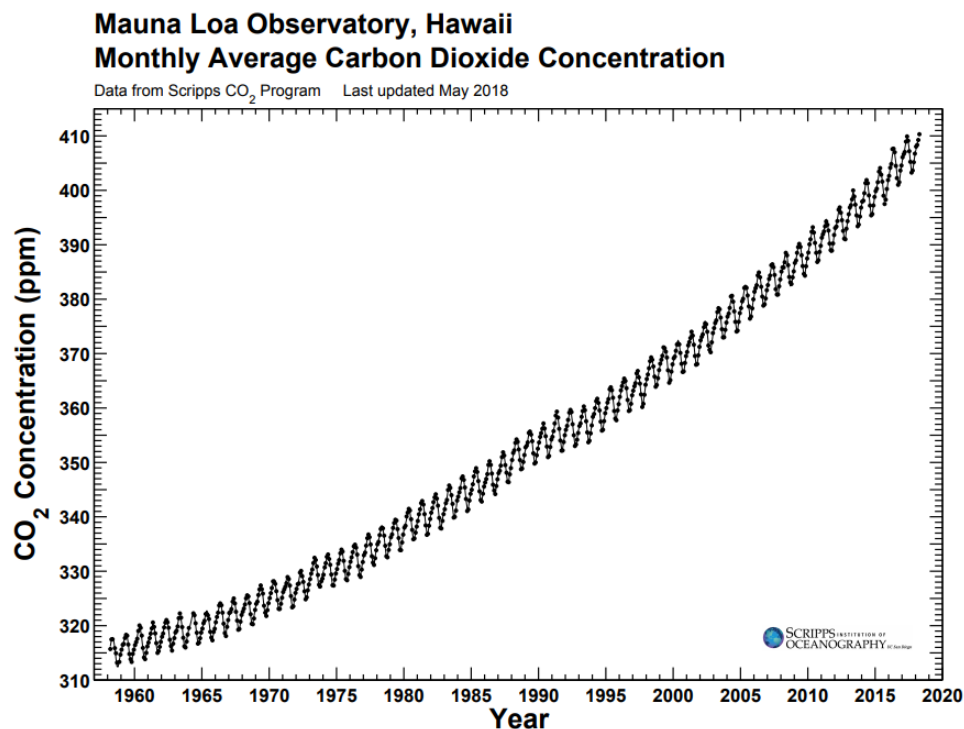


Figura 4. Gráfica Concentración de bióxido de carbono, medida en el observatorio Mauna Loa, Hawaii (SCRIPPS CO₂ PROGRAM, 2018)

Entre las principales causas del incremento del bióxido de carbono están las actividades antropogénicas como la deforestación de los bosques, el cambio en el uso del suelo y la quema de combustibles fósiles y de los bosques. Según la FAO (2001), cerca de un tercio del calentamiento de la atmósfera y el cambio climático proviene de la agricultura, sobre todo por la deforestación, quema y descomposición orgánica (FAO, 2001).

Lal (2008), indica que la comprensión del ciclo global del bióxido de carbono y sus perturbaciones por actividades humanas es muy importante para poder desarrollar estrategias de mitigación del cambio climático. La tasa de incremento de bióxido de carbono tiene una interdependencia entre las actividades



humanas, los ciclos biogeoquímicos y los procesos climáticos, en relación con los reservorios de carbono.

Al talar los bosques grandes cantidades de biomasa son quemadas y con ello el bióxido de carbono, que estaba en los árboles es rápidamente regresado a la atmósfera, con lo que la biosfera puede pasar, de ser un depósito, a ser una fuente de bióxido de carbono si no se controla la deforestación. Por otro lado, el bióxido de carbono que fue secuestrado durante miles de años, como es el caso del carbón o petróleo, es ahora regresado a la atmósfera de manera rápida en unas pocas décadas, incrementando sustancialmente los niveles de bióxido de carbono en la atmósfera. Estas dos fuentes (tala de bosques y quema de combustibles fósiles) son las principales contribuciones antrópicas al calentamiento global y juntas aportan unos 7,500 millones de toneladas de carbono al año contra 100 millones de toneladas al año atribuibles a las fuentes naturales (Field y Raupach, 2004).

Cuando se talan bosques y se quema madera, se reduce la absorción de bióxido de carbono realizada por los árboles liberando el bióxido de carbono contenido en la madera. La madera es dura y resistente; y se ha utilizado durante miles de años como combustible, así como materia prima para la fabricación de papel, mobiliario y una gran variedad de productos para diversos usos. Al quemar biomasa se produce mucha mayor cantidad de bióxido de carbono que en el caso de los combustibles fósiles (FAO, 2001).

Una de las formas para reducir las altas concentraciones de bióxido de carbono son los diferentes procesos para su captura y secuestro. Las técnicas para



capturar y almacenar el bióxido de carbono producido, pueden contribuir en combinación con otros esfuerzos a combatir el cambio climático y a estabilizar la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero (Rahmana, 2017).

El secuestro del carbono es un proceso que puede ser natural o inducido por el hombre, siendo su principal objetivo lograr un balance global del carbono, pudiendo tener a futuro un crecimiento de la economía basado en una estrategia de carbono neutral. (Lal, 2008). El secuestro de carbono se realiza de forma abiótica y biótica (Fig. 5).

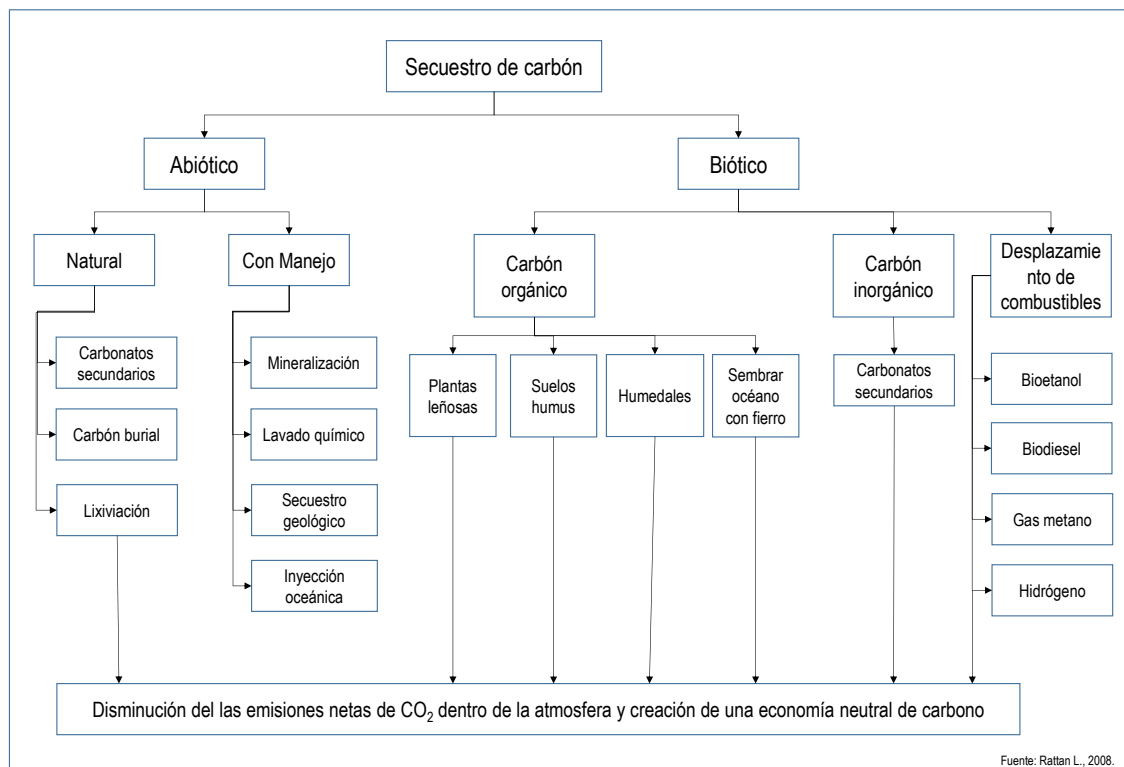


Figura 5. Captura de bióxido de carbono mediante diferentes vías (modificado por Pineda, (s/a), de Rattan, 2008).

En particular, el secuestro de carbono de la atmósfera, por medio de los ecosistemas terrestres, es un proceso natural.



La magnitud de la absorción de bióxido de carbono a través de las plantas leñosas por los ecosistemas naturales y en un ambiente de manejo, probablemente aumente en el futuro, debido al efecto de fertilización por bióxido de carbono. El proceso puede ser estimulado a través de la entrada de nutrientes esenciales (por ejemplo, N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mo) y por la gestión de agua. Existen numerosos beneficios secundarios del secuestro de carbono biótico terrestre, entre estos están (Ibidem):

- (i) la mejora de la calidad de los recursos de suelo y agua
- (ii) la disminución de las pérdidas de nutrientes de los ecosistemas
- (iii) la reducción de la erosión del suelo
- (iv) un mejor hábitat para la fauna
- (v) el aumento de la conservación del agua
- (vi) restauración de suelos degradados
- (vii) el aumento de la eficiencia del uso de entrada del carbono

Por lo tanto, el proceso de captura de carbono biótico fortalece y mejora los servicios del ecosistema al tiempo que mejora la producción agrícola. El proceso es rentable y recomienda prácticas de manejo para su adopción en los suelos agrícolas y forestales y en ecosistemas que están disponibles para la mayoría de las ecorregiones del mundo (IPCC1999). Sin embargo, la capacidad total de los sumideros para la captura de carbono biótico es especialmente importante en ecosistemas terrestres ya que se calcula entre 50 a 100PgC durante los próximos 25 a 50 años (Lal, 2004). Además, el carbono secuestrado en el suelo y en la biota puede ser emitido con el cambio del uso del suelo (por ejemplo, el arado y la deforestación).



La captación y el almacenamiento de bióxido de carbono, se considera una de las opciones para reducir las emisiones atmosféricas de bióxido de carbono generadas por actividades humanas, para llevar esto a cabo, se utiliza la tecnología, primero para recoger y concentrar el bióxido de carbono producido en las fuentes industriales y relacionadas con la energía, transportarlo a un lugar de almacenamiento apropiado y almacenarlo aislándolo de la atmósfera durante un largo periodo de tiempo, además la aplicación de este tipo de captación y, almacenaje a las fuentes de energía de la biomasa podría dar lugar a la eliminación neta del bióxido de carbono de la atmósfera (Metz *et al.* 2005).

2.8 Captura de Bióxido de Carbono

Los diversos ecosistemas almacenan y/o reciclan carbono a través de los procesos naturales de regeneración. Se considera que solamente los bosques templados acumulan carbono, ya que los bosques tropicales están a menudo en equilibrio. Según Juho *et al.*, (2009), los bosques templados son los que crecen más rápido, siendo sumideros de carbono, los bosques tropicales se consideraron inicialmente neutrales con respecto al carbono, sin embargo, recientemente se ha demostrado que en general son sumideros de carbono, aunque esta función puede estar limitada por el estrés hídrico. La proporción de carbono acumulado en el suelo y vegetación varía entre ecosistemas y tipos de bosques (Pardos, 2010). A pesar de ser actualmente fuentes netas de emisión de GEI, los bosques tienen la posibilidad de mitigar GEI por medio de la captura de carbono en diferentes ecosistemas vegetales conocidos como: sumideros (Maser, 1996; Ordóñez, 1998, 1999).



Los diversos ecosistemas forestales acumulan el 40% del carbono total almacenado en los ecosistemas terrestres. Las mayores cantidades de carbono se encuentran almacenadas en los bosques tropicales y boreales. Sin embargo, el carbono de estas dos áreas se concentra en lugares diferentes. En los trópicos la mayor parte se localiza en la vegetación, mientras que en regiones boreales hay más carbono en el suelo. Los pastizales generalmente acumulan menos carbono que los bosques si se toma la cantidad por unidad de área, no obstante, la gran extensión que ocupan aquellas hacen que se transformen en importantes sumideros de carbono atmosférico (Nakama *et al.*, 2003).

Para México, los bosques de México son extremadamente vulnerables al cambio climático (Villers y Trejo, 1998) y representan un almacén de carbono aproximado de 8 GtC (Maser et al., 1997), cantidad equivalente a las emisiones mundiales actuales de bióxido de carbono.

Sin embargo, por el cambio de uso de suelo, la capacidad de almacenamiento de carbono de la vegetación arbórea se está perdiendo rápidamente, a través de procesos de deforestación y degradación de los ecosistemas. La deforestación mundial anual se estima en 17 millones de hectáreas, lo que significa una liberación anual de cerca de 1.8 GtC³; lo que representa el 20% de las emisiones antropogénicas totales (IPCC, 1992 y 1995; Schimel, 1995).

De acuerdo con esta estimación, para los bosques templados, la tasa de deforestación es de 1% y para las selvas de 2% al año (Maser et al., 1995a).



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 (Apps et al., 1993).

Los diversos ecosistemas almacenan y/o reciclan carbono a través de los procesos naturales de regeneración. Se considera que solamente los bosques templados acumulan carbono, ya que los bosques tropicales están a menudo en equilibrio. Según Juho *et al.* (2009), los bosques templados son los que crecen más rápido, siendo sumideros de carbono, los bosques tropicales se consideraron inicialmente neutrales con respecto al carbono, aunque recientemente, se ha demostrado que en general son sumideros de carbono, aunque esta función puede estar limitada por el estrés hídrico. La proporción de carbono acumulado en el suelo y vegetación varía entre ecosistemas y tipos de bosques (Pardos, 2010). A pesar de ser actualmente fuentes netas de emisión de GEI, los bosques tienen la posibilidad de mitigar GEI por medio de la captura de carbono en diferentes ecosistemas vegetales conocidos como: sumideros (Masera, 1996; Ordóñez, 1998 y 1999).

Los diversos ecosistemas forestales acumulan el 40% del carbono total almacenado en los ecosistemas terrestres. Las mayores cantidades de carbono se encuentran almacenadas en los bosques tropicales y boreales. Sin embargo, el carbono de estas dos áreas se concentra en lugares diferentes. En los trópicos la mayor parte se localiza en la vegetación, mientras que en regiones boreales hay más carbono en el suelo. Los pastizales generalmente acumulan menos carbono que los bosques si se toma la cantidad por unidad de área, si bien, la



gran extensión que ocupan aquellas hacen que se transformen en importantes sumideros de carbono atmosférico (Nakama *et al.*, 2003).

El carbono secuestrado en el ecosistema dependerá del bióxido de carbono estable incorporado al suelo. Si bien la acumulación de carbono en el suelo es un proceso más lento que la acumulación en la biomasa, la estabilidad del primero es mayor (Nakama *et al.*, 2003).

Los productos maderables del bosque también son un mecanismo para secuestrar carbono *ex situ*, pero su estabilidad dependerá del destino (como por ejemplo si es papel, cartón, leña, madera para construcción o muebles) y de su vida media (Nakama *et al.*, 2003).

Las plantas capturan bióxido de carbono de la atmósfera, mediante el proceso fotosintético, fijando carbono en la biomasa y liberando oxígeno (O₂). El gas carbónico del aire es la única fuente de carbono para las plantas, las cuales lo captan e incorporan a sus tejidos (Brown, 1986).

Adicionalmente, son varias las prácticas forestales que juegan un papel importante en la ayuda hacia una estabilización del bióxido de carbono en la atmósfera:

a. Mantener el nivel existente de carbono en los bosques a través de la protección forestal, la conservación y la explotación sostenible; además de actividades para reducir la tasa de deforestación y degradación forestal y evitar las emisiones asociadas al bióxido de carbono.



b. Aumentar la absorción neta de bióxido de carbono de la atmósfera a través del almacenamiento de carbono en los bosques y productos forestales, por medio de la expansión del área de los bosques, aumento del total de carbono almacenado por unidad de área mediante medidas silvícolas (por ejemplo, rotaciones más prolongadas, mayor densidad de repoblación de árboles, un menor impacto de la explotación forestal), y la extensión del período durante el cual la madera explotada permanece en uso.

c. Sustituir los combustibles fósiles por bioenergía obtenida de los bosques administrados en forma sostenible y utilizar los productos forestales en lugar de las alternativas de uso intensivo de energía.

Schelegel (2001) hizo estimaciones de la biomasa y bióxido de carbono en bosques siempre verdes, donde llegó a la conclusión que el carbono almacenado en este tipo de bosques varía, y que esta variación depende del grado de desarrollo y el grado de intervención del bosque. La fijación de carbono está en función de la especie, el índice de sitio, el turno (Ciesla, 1996).

Los árboles absorben bióxido de carbono atmosférico junto con elementos en suelos y aire para convertirlos en madera que contiene carbono y forma parte de troncos y ramas. La cantidad de bióxido de carbono que el árbol captura durante un año, consiste sólo en el pequeño incremento anual que se presenta en la biomasa del árbol (madera) multiplicado por la biomasa del árbol que contiene carbono. Aproximadamente 42% a 50% de la biomasa de un árbol (materia seca) es carbono. Hay una captura de carbono neta, únicamente mientras el árbol se desarrolla para alcanzar madurez. Cuando el árbol muere, emite la misma



cantidad de carbono que capturó. Un bosque en plena madurez aporta finalmente la misma cantidad de carbono que captura. Lo primordial es, cuál es la cantidad de carbono (bióxido de carbono) que captura un árbol durante toda su vida (Zwaan y Koen, 2009).

Al convertir bióxido de carbono en madera, los árboles almacenan una pequeña parte de este gas que producimos en grandes cantidades por el uso de combustibles fósiles (petróleo, gasolina, gas, etc.) para el transporte y la generación de energía eléctrica en las actividades humanas que diariamente contaminan el medio ambiente. Después de varios años, cuando los árboles han llegado a su madurez total, absorben (capturan) únicamente pequeñas cantidades de bióxido de carbono necesarias para su respiración y la de los suelos (Zhong, 2009).

Los árboles absorben bióxido de carbono a través de los poros en sus hojas, particularmente por la noche. Una tonelada de carbono en la madera de un bosque equivale a 3.5 toneladas aprox. de CO₂ atmosférico (Herrera-Vargas, 2013). Una tonelada de madera con 45% de carbono contiene 450 Kg. de carbono y 1,575 Kg de CO₂. Los árboles maduros, plantados a distancias de 5 metros, forman un bosque de 400 árboles por hectárea. Si cada árbol contiene 300 Kg. de carbono, y 42% de la madera del árbol es carbono, esto significaría que cada árbol pesa 714 Kg. En este caso, la captura de carbono sería de 120 toneladas por hectárea (400 x 714 x 42%) (Schelhaa, 2004).

El bióxido de carbono atmosférico es absorbido por los árboles mediante la fotosíntesis, y es almacenado en forma de materia orgánica (biomasa-madera).



El bióxido de carbono regresa a la atmósfera mediante la respiración de los árboles y las plantas (Fig. 6), y por descomposición de la materia orgánica muerta en los suelos (oxidación) (Zhong, 2009).

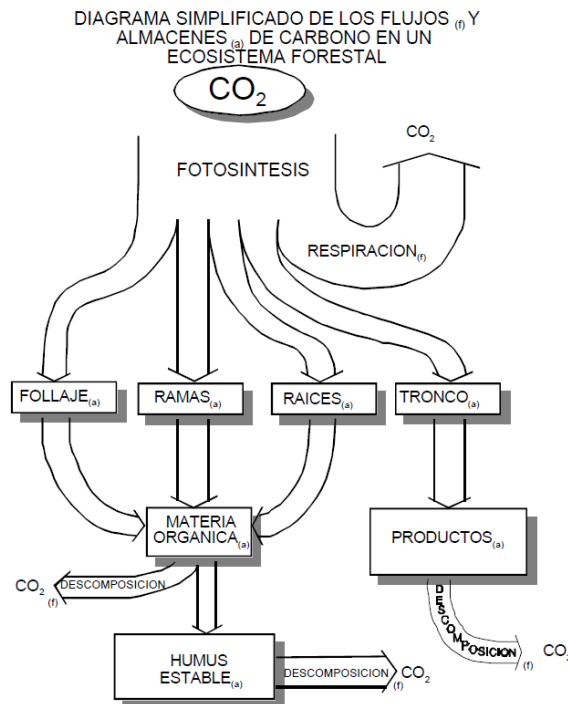


Figura 6. Flujos y almacenes de carbono (Ordóñez y Masera, 2001)

Para calcular la captura de carbono es necesario conocer el período en cual el bosque alcanzará su madurez. Los índices de captura de carbono varían de acuerdo con las especies de árboles, tipos de suelos, topografía y prácticas de manejo en el bosque. La acumulación de carbono en los bosques llega eventualmente a un punto de saturación, a partir del cual la captura de carbono resulta imposible. El punto de saturación se presenta cuando los árboles alcanzan su madurez y desarrollo completo. Las prácticas para captura de



carbono deben continuar, aún después de haber llegado al punto de saturación para impedir la emisión de carbono nuevamente a la atmósfera (Zhong, 2009).

Es fundamental para el futuro, que los bosques puedan seguir cumpliendo todas sus funciones y evitar un cambio en la distribución natural de especies de árboles y en el crecimiento de los rodales existentes. La mayor parte de los bosques ha crecido en volumen de madera y reserva de carbono, eliminando así más bióxido de carbono de la atmósfera. No obstante, la pérdida de bosques (sobre todo en los países en vías de desarrollo) y otros cambios en la utilización del suelo generan ahora mundialmente un 12-15% de las emisiones planetarias de bióxido de carbono (Kaninnen, 2000).

La naturaleza de los bosques les permite absorber bióxido de carbono de la atmósfera y así reducir su concentración en ella, por eso la importancia de la vegetación y de la conservación los espacios boscosos. Sin embargo, debido al estrés ambiental pueden pasar de absorber el bióxido de carbono a emitirlo. Los expertos aseguran que mientras los bosques se considera que reducen el calentamiento mundial, es posible que en los próximos años sean los principales emisores de carbono y que contribuyan a acelerar los efectos del cambio climático (Maser *et al.*, 1997).

Actualmente, la deforestación es la causante del 20% de los gases de efecto invernadero y de momento los bosques absorben más carbono del que emiten, aunque quizá no por mucho tiempo. Es posible que cuando la tierra se caliente 2.5°C más sobre el promedio, los ecosistemas forestales no puedan seguir ayudando al medio ambiente. Hay indicios de que los bosques jóvenes absorben



más carbono que los bosques más viejos y de los más húmedos. La preocupación central es si los ecosistemas podrán seguir con el ciclo del carbono a pesar del cambio climático (Masera *et al.*, 1997).

Kaninnen (2000) sugiere que la mayoría de los depósitos de carbono en la vegetación (el 62%) están localizados en bosques tropicales de baja latitud, mientras que la mayoría del carbono del suelo (el 54%) está localizado en los bosques templados de alta latitud. Dicho autor también revisó que en los trópicos, el carbono que está en depósitos epigeos (superficiales) varía entre 60 y 230 t/C/ha en bosques primarios, y entre 25 y 190 t C/ha en bosques secundarios, que en bosques tropicales, el carbono almacenado en el suelo varía entre 60 y 115 t C/ha y que en los sistemas agrícolas o ganaderos, los depósitos de carbono en el suelo son menores (Kanninen, 2000 con datos de Brown y Lugo, 1992 y Brown *et al.* 1989).

Para México, el manejo de los bosques naturales es una de las mejores opciones para la captación de carbono, ofreciendo simultáneamente una alternativa para incrementar la producción, tanto maderable como no maderable. Masera, (1995a) identifica dos opciones básicas para conservar y almacenar el carbono por el sector forestal:

a) conservación, que consiste en evitar las emisiones de carbono preservando las áreas naturales protegidas, fomentando el manejo sostenible de bosques naturales y el uso renovable de la leña, y mediante la reducción de incendios.



b) reforestación, dedicada a almacenar y recuperar áreas degradadas mediante acciones como la protección de cuencas, la reforestación urbana, la restauración para fines de subsistencia (leña), el desarrollo de plantaciones comerciales para madera, pulpa para papel, hule, etc., así como de las plantaciones energéticas (producción de leña y generación de electricidad) y de los sistemas agroforestales.

Los ecosistemas forestales contienen grandes cantidades de carbono almacenado en biomasa viva, muerta y en el suelo (Post, *et al.*, 1982; Ordóñez y Maser, 2001). Sin embargo, en regiones tropicales y templadas hay un proceso acelerado de conversión de ecosistemas forestales con alta cantidad de biomasa a ecosistemas con bajos niveles, como vegetación secundaria, áreas cultivadas y pastizales (FAO, 1993). Las estimaciones del total de bióxido de carbono emitido a partir de estas reducciones en biomasa y procesos de deforestación varían entre 8 y 44% del total de emisiones antropogénicas de bióxido de carbono (Cook, *et al.*, 1990; Schimel, 1995).

Los principales almacenes de carbono en los ecosistemas forestales se encuentran fraccionados en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo (vegetación), hojarasca, sistema radicular y carbono orgánico del suelo (Snowdon *et al.*, 2001). La vegetación es la encargada de incorporar el carbono atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis (SEMARNAT, 2001; Sarmiento y Gruber, 2002).

El cálculo adecuado de la biomasa es un elemento importante, debido a que permite determinar los montos de carbono por unidad de superficie y tipo de



bosques, además de otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes (Snowdon *et al.*, 2001; Montero *et al.*, 2004). La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Schulze *et al.*, 2000). La determinación de esta capacidad constituye un reto cuando se trata de evaluar el potencial de sistemas forestales, naturales, alterados o inducidos por el hombre. Si bien en México existen algunos trabajos sobre secuestro de carbono en diferentes ecosistemas (Olguín, 2001), es necesario incrementar los trabajos tendientes a la medición de biomasa y carbono almacenado en la misma; para que las comunidades locales tengan un ingreso económico.

Estimaciones efectuadas durante 100 años, reportan que la captura de carbono oscila entre 75 y 200 toneladas por hectárea, dependiendo del tipo de árbol y de la cantidad de árboles sembrados en una hectárea. Es posible entonces asumir que 100 toneladas de carbono capturado por hectárea equivalen a 350 toneladas de bióxido de carbono. Esto es una tonelada de carbono y 3.5 toneladas de CO₂ por año y por hectárea. Calculando la pérdida de árboles en 25% por hectárea. Entonces la captura de carbono es de 75 ton/ha, es equivalente a 2.6 ton de CO₂ por año y por hectárea (Snowdon *et al.*, 2001).

El promedio mundial de emisiones de bióxido de carbono en 2007 fue de 11.8 ton por persona (Colomo-Ugarte, 2008). Sin embargo, esta cantidad se elevará, porque la población y las emisiones de bióxido de carbono aumentan diariamente (Snowdon *et al.*, 2001).



Cada año se requerirían mucho más de 9,000 millones de hectáreas plantadas con árboles en desarrollo en regiones sin forestación para compensar las emisiones de bióxido de carbono y reponer los árboles muertos. Sin embargo, 70 % del planeta Tierra está cubierto por agua; las tierras sin forestación generalmente no son adecuadas para la mayoría de las especies de árboles; y los suelos fértiles se requieren para producir alimentos (IPCC, 2007).

Hay que insistir en que la captura de carbono en bosques y suelos es reversible. El carbono que tomó muchos años (décadas) para ser capturado y almacenado en troncos y ramas de árboles en los bosques podría quedar liberado en la atmósfera, debido a incendios forestales; manejo inadecuado de los bosques; cambios en los usos de suelo; plagas y enfermedades vegetales; y por efectos del calentamiento global. De tal manera, el bióxido de carbono regresaría a la atmósfera empeorando la situación actual que afecta negativamente las condiciones climáticas, la salud humana y la vida en el planeta (IPCC, 2007).

2.9 Secuestro de Bióxido de Carbono

Puede ser definido como la captura y aseguramiento del almacenaje del carbono que ha sido emitido de otra manera y que se encuentra en la atmósfera. El objetivo principal es mantener bajas las concentraciones del bióxido de carbono producidas por actividades humanas, así como eliminarlo de la atmósfera por varios medios para almacenarlo (Brown, *et al.*, 1996).

Lal (2008) propone diferentes estrategias para asegurar el secuestro de bióxido de carbono en ecosistemas terrestres, se propone trabajar sobre la restauración



de suelos degradados y en la adopción de prácticas de manejo adecuadas para bosques y para la agricultura (Fig. 7). Entre las estrategias están:

- Restauración de suelos degradados por
 - ✓ Erosión, salinización, alcalinización, disminución de nutrientes, contaminación.
 - ✓ Adopción de Prácticas de Manejo Recomendadas, sobre suelos agrícolas y forestales.
 - ✓ Manejo integral de nutrientes, labranza de conservación con matillo de residuos y cultivo de cobertura, rotación de cultivos, agricultura de precisión y fertilización, control integrado de plagas.

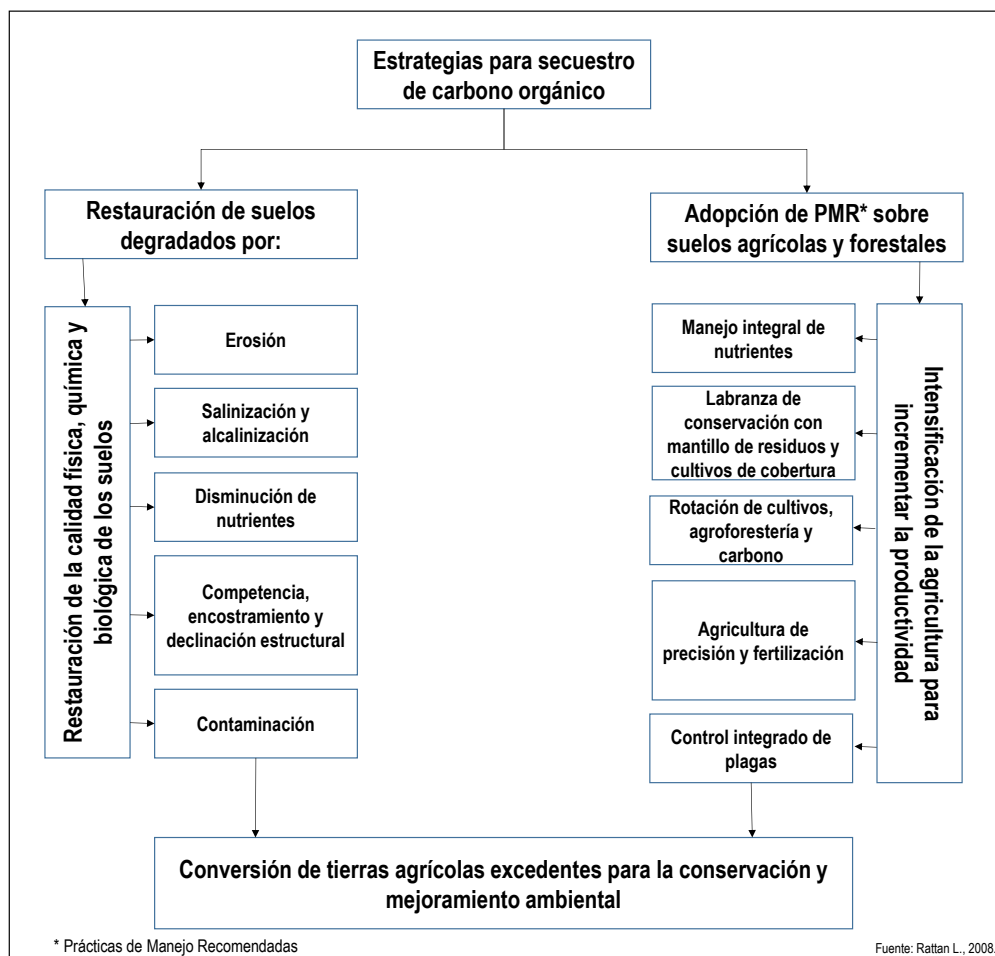


Figura 7. Estrategias para el secuestro de carbono (modificado por Pineda, (s/a), de Rattan, 2008)

El carbono secuestrado en el ecosistema dependerá del bióxido de carbono estable incorporado al suelo. Si bien la acumulación de carbono en el suelo es un proceso más lento que la acumulación en la biomasa, la estabilidad del primero es mayor (Nakama *et al.*, 2003).

Almacenamiento geológico. Se consigue mediante la inyección de bióxido de carbono en forma consensada en una formación rocosa subterránea. Las formaciones rocosas porosas que retienen o que han retenido fluidos. Las formaciones aptas para el almacenamiento pueden geológicas pueden aparecer



en cuencas sedimentarias terrestres y marítimas. Las capas de carbono también pueden utilizarse para almacenar bióxido de carbono cuando sea poco probable que el carbón sea explotado posteriormente y siempre que la permeabilidad sea suficiente. Se han examinado tres tipos de formaciones yacimientos petroleros y gas, formaciones salinas profundas y capas de carbón inexplotables. La inyección de bióxido de carbono en formaciones geológicas profundas comprende muchas de las tecnologías que se han desarrollado en la industria de la prospección y la producción de petróleo y gas. La tecnología de perforación de pozos, de inyección, la simulación por ordenador de la dinámica de los depósitos de almacenamiento y los métodos de vigilancia de aplicaciones existentes siguen desarrollándose para el diseño y el funcionamiento del almacenamiento geológico (Metz *et al*, 2005).

Almacenamiento oceánico. El cual consiste en inyectar el bióxido de carbono captado directamente en los fondos oceánicos (a más de mil metros de profundidad), de donde la mayor parte quedaría aislada de la atmósfera durante siglos. Esto se puede lograr mediante el transporte de bióxido de carbono por gasoductos o buques a un lugar de almacenamiento oceánico, donde se inyecta en la columna del agua del océano o en los fondos marinos. Posteriormente el bióxido de carbono disuelto y disperso se convertiría en parte del ciclo global del carbono. El almacenamiento oceánico aún no se ha desplegado ni demostrado a escalas experimental y sigue en la fase de investigación (Metz *et al.*, 2005).

En sistemas terrestres la tasa de secuestro de carbono depende de las características de crecimiento de las diferentes especies de plantas. Las



condiciones de crecimiento dependen del lugar donde se desarrollan las plantas, de su distribución, así como de la densidad, también se tiene que el secuestro es mayor en individuos jóvenes (por ejemplo, en árboles se consideran individuos de menos de 50 años), de tal forma que al conocer la cantidad de Bióxido de carbono secuestrada por un árbol y lo dividimos por su edad, podemos conocer la tasa anual de secuestro de Bióxido de carbono (Nilsson, 1995).

2.10 Métodos para estimar la Captura de Bióxido de Carbono

El servicio que brinda la vegetación del bosque, de reducir bióxido de carbono de la atmósfera mediante la fotosíntesis y fijar el carbono como biomasa orgánica, evita la acumulación excesiva de carbono y conduce a reducir el efecto invernadero.

Para estimar la fijación de carbono como materia orgánica se basa en procedimientos indirectos, y por muestreos en diferentes tipos de vegetación o por la aplicación de fórmulas empíricas (Brown, 1986).

En los años recientes se han utilizado diversos métodos para estimar la captura y almacenamiento de bióxido de carbono. Para la aplicación de los diferentes métodos es necesario efectuar mediciones a las masas forestales, y posteriormente efectuar cálculos para la determinación del contenido del bióxido de carbono.



Evaluación de los Bosques

La evaluación de los recursos forestales en nuestro país ha estado orientado tradicionalmente hacia los recursos forestales maderables, principalmente destinado para el aprovechamiento maderero, y no han sido considerados otros beneficios asociados como son los servicios ambientales y los ecológicos. Por lo tanto, resulta muy importante investigar e incluir los aspectos de evaluación de los demás recursos forestales (FAO, 2017).

La evaluación forestal puede ser clasificada de acuerdo con diferentes criterios:

Evaluación directa, la cual está basada en mediciones que se obtienen de forma inmediata al tomar mediciones o hacer conteos sobre el recurso que nos interesa. Por ejemplo, cuando empleamos una cinta para determinar el diámetro de un árbol, estamos haciendo una evaluación directa porque el dato obtenido expresa inmediatamente el diámetro del árbol (Rivas, 2002).

La evaluación indirecta, la que se basa en mediciones que nos permiten inferir los datos del recurso de una manera menos inmediata. Tendremos que primero efectuar cálculos con estos datos para obtener entonces lo que nos interesa sobre el recurso. Entre los cuales, al calcular la biomasa de un árbol estamos utilizando datos directos para calcularla y de este dato se puede posteriormente calcular el contenido de bióxido de carbono (Ibidem).

Un bosque por definición está dominado por árboles. Para cuantificar qué hay en el bosque, se debe ser capaz de medir tanto árboles individuales como grupos de árboles o rodales (Klein, 2000).



Una forma de realizar esta cuantificación es a través de los Inventarios Forestales que de acuerdo con Romahn *et al.*, (1994), es la “Cuantificación ordenada de superficies clasificadas, de los volúmenes contenidos y el crecimiento probable referidas a especies, divisiones naturales y convencionales adoptadas”, pudiendo considerar también que “Trata de describir la cantidad y calidad de los árboles de un bosque y muchas de las características de la zona de terreno donde crecen tales árboles”

El Inventario Forestal tiene como objetivos:

- Describir la situación del monte
- Investigar la estructura de la masa, es decir la distribución del número de árboles por diámetros y alturas
- Calcular sus existencias
- Estimar sus crecimientos
- Además, puede proporcionar información sobre otras muchas cuestiones como: Espesura de la masa, Biodiversidad, Estado sanitario, Estado silvícola, Contenido de carbono, entre otras.

Los cálculos de estimación de productividad de un bosque se han hecho siempre con base en los recursos naturales renovables del bosque, como la madera, el forraje, el agua, la diversidad. Esta productividad se define en gran parte por la Calidad del sitio, la cual se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produzca en un tiempo determinado (Daniel, *et al.*, 1979).



La Calidad del Sitio es la suma de muchos factores, como puede ser las características del suelo, la pendiente del terreno, la exposición, el clima, las especies que se desarrollan en el área, etc.

Dado que la Calidad del Sitio se mide en términos de la máxima cantidad de madera producida, el valor que se le asigne puede variar según la especie de los árboles y el tiempo transcurrido. Entonces es necesario determinar la Calidad de Sitio en zonas en particular en relación con las especies que ahí crecen, ya sea una comunidad pura o mezclada, que podrán tener edad uniforme o no y estar total o parcialmente pobladas. Existen diversas metodologías para calcular esta Calidad, teniendo que elegir la que responda a los requerimientos del estudio (Daniel, 1982, Martínez, 2015).

Medidas dasométricas

Dasometría es la parte de la dasonomía, que se ocupa de las mediciones de árboles y masas forestales, así como del estudio de las leyes métricas que rigen su evolución (crecimiento); asimismo una herramienta que permite obtener información para integrar el inventario forestal, que una vez efectuado el análisis correspondiente nos lleva a tomar decisiones para la óptima gestión de un bosque (Grijpma, 1998). Dentro de las mediciones longitudinales frecuentes en el campo forestal se tienen: altura de los árboles, longitudes de troncos, fustes y trozas, diámetros de secciones de árbol, diámetro a la altura del pecho, diámetros de copa, entre otros.



2.11 Índices de Diversidad

La diversidad-alfa representa la diversidad de especies a lo largo de todas las subunidades (o escalas) locales relevantes, y por definición abarca dos variables importantes: 1) la riqueza de especies y 2) la abundancia relativa de especies.

Existen muchos índices para calcular diversidad-alfa, el índice de Simpson (Simpson 1949), y el índice de Shannon-Wiener (Shannon 1948). Los índices de diversidad incorporan en un solo valor a la riqueza específica y a la equitabilidad.

El Índice de Simpson, es un índice de dominancia de especies, manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes (Peet, 1974). Asume la proporción de individuos en un área con ponderaciones adecuadas de su importancia a la diversidad, las especies no abundantes tienen una ponderación baja, dando más importancia a las que sí o son. Como su valor es inverso a la equidad, la diversidad puede calcularse como

$1 - \lambda$.

$$D_{Si} = \sum_{i=1}^S P_i^2$$

Donde:

D_{Si} = Índice de Simpson

S = Número total de especies

P_i = abundancia proporcional de la *i*ésima especie

El Índice de Shannon, expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de



incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Baev y Penev, 1995). Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos.

$$H' = -\sum_{i=1}^S (P_i \times \log_2 P_i)$$

Donde:

H' = Índice de Shannon-Wiener

S = Número total de especies

P_i = abundancia proporcional de la *i*ésima especie

El Índice de Margalef, es un índice de riqueza específica. Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos, si esto no se mantiene, entonces el índice varía con el tamaño de muestra de forma desconocida.

$$R_1 = \frac{S-1}{\ln(n)}$$

Donde:

R_1 = Índice de Riqueza Específica



S = Número total de especies

n = Número total de individuos observados

Productividad

Todos los organismos en los ecosistemas dependen del suministro de energía para su funcionamiento, la energía que se consume prácticamente proviene del sol, esta energía es captada por los organismos de diferente forma. Las plantas y algunas bacterias se denominan “productores primarios” y son los organismos que hacen entrar la energía en los ecosistemas y forman el 99,9% en peso de los seres vivos de la biosfera (Raven, 2014).

La energía es fijada en las plantas a través del proceso de la fotosíntesis, la fotosíntesis es el proceso por el que se capta la energía luminosa que procede del sol y se convierte en energía química. Con esta energía el bióxido de carbono, el agua y los nitratos que las plantas absorben reaccionan sintetizando las moléculas de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos (ADN y ARN) que forman las estructuras vivas de la planta (Carlson, 1990).

Las plantas crecen y se desarrollan gracias a la fotosíntesis, pero respiran en los periodos en los que no pueden obtener energía por fotosíntesis porque no hay luz o porque tienen que mantener los estomas cerrados. En la respiración se oxidan las moléculas orgánicas con oxígeno del aire para obtener la energía necesaria para los procesos vitales. En este proceso se consume O_2 y se desprende bióxido de carbono y agua, por lo que, en cierta forma, es lo contrario de la fotosíntesis que toma bióxido de carbono y agua desprendiendo O_2 .



Cuando se habla de producción de un ecosistema se hace referencia a la cantidad de energía que ese ecosistema es capaz de aprovechar (Lambers, 2008)

La producción primaria bruta de un ecosistema es la energía total fijada por fotosíntesis por las plantas. La producción primaria neta es la energía fijada por fotosíntesis menos la energía empleada en la respiración, es decir la producción primaria bruta menos la respiración (Ibidem).

Cuando la producción primaria neta (PPN) es positiva, la biomasa de las plantas del ecosistema va aumentando. Es lo que sucede, por ejemplo, en un bosque joven en el que los árboles van creciendo y aumentando su número. Cuando el bosque ha envejecido, sigue haciendo fotosíntesis, pero toda la energía que recoge la emplea en la respiración, la producción neta se hace cero y la masa de vegetales del bosque ya no aumenta (Gómez, 1991).

Se considera entonces que es el flujo neto de carbono procedente de la atmósfera en las plantas verdes por unidad de tiempo. La PPN hace referencia al proceso de cálculo, es decir, la cantidad de materia vegetal producida (producción primaria neta) al día, semana o año. La PPN constituye una variable ecológica esencial, no solo porque mide la entrada de energía a la biosfera y la asimilación del bióxido de carbono terrestre, sino también por su importancia a la hora de indicar la condición de la zona de la superficie terrestre y el estado de una amplia gama de procesos ecológicos (Lambers, 2008).



Biomasa. La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica (Caspersen, 2000).

En muchos sentidos, la biomasa puede considerarse como una forma de energía solar almacenada ya que las plantas utilizan esta energía para capturar bióxido de carbono y agua a través de la fotosíntesis.

Determinación del contenido de Carbono

Existen diferentes metodologías para determinar el contenido de Carbono en las plantas, Schelegel (2001), hizo estimaciones de la biomasa y bióxido de carbono en bosques siempre verdes, donde llegó a la conclusión que el carbono almacenado en este tipo de bosques varía, y que esta variación depende del grado de desarrollo y el grado de intervención del bosque. La fijación de carbono está en función de la especie, el índice de sitio, el turno, entre otros (Ciesla, 1996).

Trexler y Haugen (1995) estimaron que en México existen alrededor de 4.6 millones de hectáreas, con potencial de captura que varía entre 33.3-113.4 millones de toneladas de carbono, dichos autores estiman que existen en el país alrededor de 30 millones de hectáreas de áreas arboladas con regeneración natural con posibilidades de capturar entre 1,038 y 3,090 millones de toneladas de bióxido de carbono.



Los árboles absorben bióxido de carbono (bióxido de carbono) atmosférico junto con elementos en suelos y aire para convertirlos en madera que contiene carbono y forma parte de troncos y ramas. La cantidad de bióxido de carbono que el árbol captura durante un año, consiste sólo en el pequeño incremento anual que se presenta en la biomasa del árbol (madera) multiplicado por la biomasa del árbol que contiene carbono. Aproximadamente 42% a 50% de la biomasa de un árbol (materia seca) es carbono. Hay una captura de carbono neta, únicamente mientras el árbol se desarrolla para alcanzar madurez. Cuando el árbol muere, emite la misma cantidad de carbono que capturó. Un bosque en plena madurez aporta finalmente la misma cantidad de carbono que captura. Lo primordial es cuanto carbono (bióxido de carbono) captura el árbol durante toda su vida (Zwaan y Koen, 2009).

Los árboles, al convertir el bióxido de carbono en madera, almacenan muy lentamente sólo una pequeña parte del bióxido de carbono que producimos en grandes cantidades por el uso de combustibles fósiles (petróleo, gasolina, gas, etc.) para el transporte y la generación de energía eléctrica en las actividades humanas que diariamente contaminan el medio ambiente. Después de varios años, cuando los árboles han llegado a su madurez total, absorben (capturan) únicamente pequeñas cantidades de bióxido de carbono necesarias para su respiración y la de los suelos (Zhong, 2009).

La determinación adecuada de la biomasa de un bosque es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar los montos de carbono por unidad de superficie y tipo de bosques, además de otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes (Snowdon *et al.*, 2001; Montero *et*



al., 2004). Esta información es de especial importancia en la actualidad, debido a la necesidad de conocer los montos de carbono capturado por los bosques naturales y plantaciones. La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Schulze *et al.*, 2000). La determinación de esta capacidad constituye un reto cuando se trata de evaluar el potencial de sistemas forestales, naturales, alterados o inducidos por el hombre. Si bien en México existen algunos trabajos sobre secuestro de carbono en diferentes ecosistemas (Olguín, 2001), es necesario incrementar los trabajos tendientes a la medición de biomasa y carbono almacenado en la misma; para que las comunidades locales tengan un ingreso económico.

Estimaciones efectuadas durante 100 años, reportan que la captura de carbono oscila entre 75 y 200 toneladas por hectárea, dependiendo del tipo de árbol y de la cantidad de árboles sembrados en una hectárea. Es posible entonces asumir que 100 toneladas de carbono capturado por hectárea equivalen a 350 toneladas de bióxido de carbono. Esto es una tonelada de carbono y 3.5 toneladas de CO₂ por año y por hectárea. Calculando la pérdida de árboles en 25% por hectárea. Entonces la captura de carbono es de 75 ton/ha equivalente a 2.6 ton de CO₂ por año y por hectárea (Snowdon *et al.*, 2001).

El servicio que brinda la vegetación del bosque, de reducir bióxido de carbono de la atmósfera mediante la fotosíntesis y fijar el carbono como biomasa orgánica, evita la acumulación excesiva de carbono y conduce a reducir el efecto invernadero. En general, la estimación se basa en procedimientos indirectos, y



por muestreos en diferentes tipos de vegetación o por la aplicación de fórmulas empíricas (Brown, 1986).

En los años recientes se han utilizado diversos métodos para estimar la captura y almacenamiento de bióxido de carbono.

Para la estimación de carbono se han realizado en parcelas de muestreo en campo donde se miden atributos de árboles individuales, lo que permite estimar su biomasa mediante relaciones alométricas. Después, las estimaciones individuales son sumadas para obtener estimaciones de la parcela; finalmente mediante extrapolaciones se obtienen estimaciones por unidad de superficie.

Otro de los métodos indirectos, son las imágenes obtenidas mediante sensores remotos, los cuales tienen una función importante, ya que graban la energía electromagnética reflejada y registran la variabilidad natural a una determinada resolución espacial, temporal y radiométrica de una manera instantánea y a bajo costo, en comparación con los métodos de inventario tradicionales (Labrecque *et al.*, 2006).

Hay varias metodologías para usar la percepción remota en estudios locales dirigidos a la estimación de biomasa y carbono. Varios de ellos usan píxeles individuales o grupos de ellos como unidad de análisis. Entre estos métodos están los paramétricos, como el ajuste de modelos matemáticos mediante regresión entre las variables de interés y los datos espectrales de las imágenes de satélite (Labrecque *et al.*, 2006; Hall *et al.*, 2006).

Otros métodos son el k-ésimo vecino más cercano (k-nn: k-nearest neighbor) (Franco-López *et al.*, 2001; Mäkelä y Pekkarinen, 2004); una variante del k-nn



llamada vecino más similar (most similar Neighbor, MSN) basado en la matriz de correlaciones canónicas (Muinonen *et al.*, 2001); estimadores de razón y regresión para el análisis de cobertura arbórea (Valdez-Lazalde *et al.*, 2006); y métodos geoestadísticos que incluyen el uso de variogramas caracterizados por altos costos de muestreo (Zawadzki *et al.*, 2005).

La resolución espacial ideal para estudiar variables de densidad forestal no tiene que ser tan detallada. La enorme variabilidad de la reflectancia causada por la sombra de las copas de los árboles o la rugosidad del follaje no debe ser registrada. Entonces, SPOT 5 y su mejorada resolución espacial (10 m), localizada entre la de Landsat (30 m) e imágenes de muy alta resolución espacial (2.5 m), parece una buena alternativa para la estimación de biomasa y carbono en masas arboladas (Darvishsefat *et al.*, 2004).

De acuerdo con el IPCC (2001), la biomasa es considerada como la masa total de organismos vivos en una zona o volumen determinado; a menudo se incluyen los restos de plantas que han muerto recientemente (biomasa muerta). Por otra parte, la FAO (1998) considera que la biomasa es un elemento principal para determinar la cantidad de carbono almacenado en el bosque. La biomasa forestal permite elaborar previsiones sobre el ciclo mundial del carbono, que es un elemento de importancia en los estudios sobre el cambio climático. La cuantificación de la biomasa de un bosque es el elemento clave para estimar los montos de carbono en cada componente, incluye:

- 1) el carbono en el suelo, en los organismos vivos (plantas o animales) y en la materia orgánica humificada,



2) el carbono sobre el suelo, se incluye la acumulación de mantillo la vegetación del sotobosque y la biomasa acumulada en los árboles.

Según Brown (1997) existen métodos directos e indirectos para estimar la biomasa aérea de un bosque.

El método directo consiste en cortar el árbol y pesar la biomasa directamente. Otra forma es calcular la biomasa aérea de manera indirecta a través de ecuaciones y modelos matemáticos obtenidos por análisis de regresión entre las variables colectadas en terreno y en inventarios forestales. Este mismo autor estimó que la cantidad de carbono almacenado para diversos tipos de bosques naturales, secundarios y plantaciones forestales, casi en su totalidad asume el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50% para todas las especies en general (Nakama *et al.*, 2002).

Otra metodología es la usada por Gayoso (2005), en el cual se utilizan las fracciones de la madera del fuste, la corteza, las ramas y las hojas, las muestras son molidas y secadas en estufa a 103°C, y posteriormente se determina el contenido de carbono orgánico mediante el método de Walkey y Black (1934), que consiste en la oxidación con una solución de dicromato de potasio en un medio sulfúrico. Según la cantidad de reactivo utilizado en la reacción, se calcula la equivalencia de carbono presente en la muestra; la determinación se realiza colorimétricamente midiendo la intensidad del color producido por los iones de cromo. Cabe señalar que este método sólo evalúa la fracción orgánica de carbono en el tejido vegetal.



Una metodología más es la utilización del analizador de gases infrarrojo (*CIRAS-1* Portable Photosynthesis System), con el cual se pueden obtener algunos parámetros que están en relación con la captura de Bióxido de Carbono, se obtienen la Tasa de Asimilación (A), la Conductividad estomática (Gs) y la Concentración Intercelular de CO₂ (Ci). El principio básico de este analizador consiste en que el bióxido de carbono es absorbido por la radiación infrarroja. La energía total que entra en el sistema es menor que en la cámara de absorción. Por otra parte, la medida de la fotosíntesis en este sistema está basada en las diferencias de CO₂ y H₂O en una corriente de aire, que fluye a través de la cámara donde se coloca una hoja del árbol (Li-cor, 2011).

Métodos de Muestreo

El muestreo forestal es el acto de tomar o seleccionar una parte (muestra) del bosque (población), realizar mediciones sobre ella e inferir o aplicar los resultados a todo el bosque (Rivas, 2006).

Hay diversos tipos de muestreo (McRoberts *et al.*, 1992):

Muestreo aleatorio simple. Un muestreo aleatorio simple sitúa las parcelas de muestra de forma aleatoria dentro de la población muestreada. De manera casual, pueden existir agrupaciones espaciales y terrenos vacíos en la distribución de parcelas; a pesar de ello, continúa siendo un muestreo probabilístico válido. Las coordenadas geográficas de cada una de las parcelas de muestra incluidas en una muestra aleatoria se pueden seleccionar gracias a un generador de números aleatorios que utilice las coordenadas permitidas y limitadas a la población muestreada. Aparte de esto, no se tienen en



consideración ni la seguridad, ni la dificultad de medición de las parcelas ni los desplazamientos desde y hasta las ubicaciones de las parcelas. Se trata del diseño de muestreo de igual probabilidad menos arriesgado, pero también es el menos eficaz con respecto al coste y a la precisión de los cálculos, en parte debido a la correlación espacial entre las observaciones (Ibiedm).

Muestreo sistemático. Un muestreo sistemático utiliza una cuadrícula fija, o una matriz, para asignar parcelas en un patrón regular. La ventaja del muestreo sistemático es que maximiza la distancia media entre parcelas y por lo tanto, minimiza la correlación espacial entre observaciones e incrementa la eficacia estadística. Los muestreos sistemáticos se pueden basar en cuadrículas rectangulares o en matrices hexagonales. Por ejemplo, una parcela de muestra podría establecerse en las intersecciones de una cuadrícula de 2 x 2 km. Para seleccionar el punto inicial y la orientación de dicha cuadrícula se utiliza un número aleatorio, pero no es necesaria ninguna otra información de este tipo. Este diseño de muestreo es el más común en ingeniería forestal. El mayor riesgo es que la orientación de la cuadrícula pueda, por algún casual, coincidir o ser paralela a las características naturales o introducidas por el hombre, como carreteras o caminos de grava formados como resultado del deshielo de glaciares (Ibidem).

Muestreo estratificado. El muestreo estratificado conlleva, en primer lugar, dividir la población en subpoblaciones que no se solapen, denominadas estratos y que, de forma conjunta, incluyen el conjunto de la población y, a continuación, dibujar una muestra independiente a partir de cada estrato. Si la muestra de cada



estrato es una muestra aleatoria simple, la totalidad del procedimiento se describe como muestreo aleatorio estratificado (Ibidem).

Muestreo piloto. Este tipo de muestreo nos permitirá tener una información aproximada de las características de la masa mediante unas mediciones someras. La intensidad de este no debe sobrepasar, en general, el 0.4 % de la superficie del inventario o 60 unidades de muestreo (Hoz Rodríguez, *et al.*, 2004).



Capítulo II

3 Pregunta de Investigación

¿Cuál es la cantidad de bióxido de carbono que es capturado por las especies de coníferas que se encuentran en el parque estatal “El Faro”?

4 Objetivos

Objetivo General

Evaluar la captura de carbono, en el parque estatal “El Faro” Tlalmanalco, México, México

Objetivos particulares

- ✓ Realizar la rodalización de la zona
- ✓ Realizar el inventario forestal y las variables dasométricas de cada rodal
- ✓ Evaluar de la calidad de sitio
- ✓ Determinar de la biomasa
- ✓ Determinar del contenido de carbono en las especies de los rodales seleccionados.



Capítulo III

5. Zona de trabajo

5.1 Localización

El Parque estatal, se localiza al este del Estado de México, en las faldas del Iztaccíhuatl, al norte del poblado de San Rafael, en el municipio de Tlalmanalco de Velázquez. En los paralelos Norte $19^{\circ}12'32''$ y $98^{\circ}45'28''$. Presenta altitudes que van de 2540 a 2680 msnm en la parte más alta del Cerro “El Faro”. Tiene una superficie de 40.5 ha aproximadamente (Fig. 8).



Figura 8. Imagen satelital del parque estatal “El Faro”, Tlalmanalco, México (Google Earth, 2018)

Como parte importante de Sierra Nevada en 1935 se declaró Parque Nacional, a las montañas denominadas Iztaccíhuatl y Popocatepetl, considerando que contribuían -y lo siguen haciendo- de manera considerable a la alimentación de las aguas de los ríos, manantiales y lagunas de sus cuencas hidrográficas;



asimismo, se considera que deben protegerse bosques, pastos y herbáceas ya que son muy importantes para evitar la erosión de sus terrenos en declive, para mantener el equilibrio climático de las comarcas vecinas, y para mantener las condiciones biológicas; tanto de vegetación como de fauna (Méndez y Novola, 2001).

El 19 de noviembre de 1998, en el contexto de la firma del Convenio General para el Desarrollo Sustentable de la Sierra Nevada entre la Universidad Autónoma Metropolitana, la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, la Secretaría de Desarrollo Social y el Gobierno del Estado de México, se firmó el primer Convenio Específico para ceder en Uso y Administración los predios “Cerro El Faro” y “Cerro de los Monos” a la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) (Atlas Municipal, 2000).

El Área Natural Protegida con categoría de parque estatal denominado “Cerro el Faro” y “Cerro de los Monos”, fue expedido mediante Declaratoria del Ejecutivo del Estado, publicada en el Periódico Oficial “Gaceta del Gobierno” el 8 de agosto de 2003. Es un área ambientalmente estratégica que se debe proteger, conservar, restaurar y aprovechar de manera sustentable para garantizar la conservación de los ecosistemas representativos y sus recursos naturales, asegurar el aprovechamiento racional de los ecosistemas y sus elementos, así como proporcionar un campo propicio para la Investigación Científica y el estudio de los ecosistemas y su equilibrio (Méndez, 2001).

En el contexto de la creación del “Centro para la Sustentabilidad Incalli Ixcahuicopa”, la Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna del



Gobierno del Estado de México (CEPANAF), firmó el 28 de junio de 2005 el convenio para el saneamiento, recuperación, conservación, protección, uso y desarrollo sustentable de las áreas naturales protegidas “Cerro El Faro” y “Cerro de los Monos” con vigencia de 25 años. En coadyuvancia con la Comisión Ambiental Metropolitana y la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México, con el fin de promover tareas permanentes de investigación, restauración, conservación, manejo y educación ambiental, la Universidad Autónoma Metropolitana creó en dicha área natural protegida la sede Forestal de Biodiversidad “El Faro” (Programa de Conservación y Manejo, 2007).

Con el propósito de revertir algunas de esas tendencias y salvaguardar la existencia de recursos indispensables para el humano como agua, alimento y oxígeno, un equipo de investigadores de la Universidad Autónoma Metropolitana trabaja en el rescate de una de las áreas verdes más importantes para la ciudad de México. La Sierra Nevada sede de El Faro y de los históricos volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, constituye un área muy importante para la capital de la República por la masa de oxígeno que le proporciona y por constituirse en una de las reservas más importantes de agua, pues provee a gran parte del oriente de la zona metropolitana.

Dada la complejidad de factores que intervienen en la conservación de un área como ésta, el Faro ofrece espacios para que los visitantes aprendan los principales elementos a considerar, para conservar un área natural protegida. Las herramientas con las que cuenta, sin embargo, han servido para mostrar los problemas ecológicos a los que nos enfrentamos en los distintos niveles (locales, nacionales y mundiales). La intención fundamental es mostrar a los visitantes las



distintas aristas que presentan la conservación y recuperación del medio ambiente, para que al final hagan una reflexión del papel fundamental que tiene cada ser humano en el cuidado del planeta (Atlas Municipal, 2000).

La Sierra Nevada cobra importancia particular por sus 30 mil hectáreas forestales, que forman parte del sistema metropolitano del Valle de México, en donde ya se han encaminado una gran variedad de proyectos innovadores para el manejo forestal sustentable. Asimismo, se ha considerado una zona de captura de carbono y generación de oxígeno al capturar 1'137,009 toneladas de carbono al año. Y producir oxígeno para 10 millones de habitantes del Valle de México (Ezcurra *et al.*, 2001).

5.2 Clima

De acuerdo con García (2004), el clima presente en el “Cerro El Faro” es del tipo templado húmedo, con régimen de lluvias dominantes durante el verano. La simbología correspondiente a este tipo de clima es $Cb'(w_2) (w)k'ig$, que, de acuerdo con la misma autora, significa que, en la zona, la precipitación invernal equivale a una cantidad menor al 5% respecto del total de precipitación anual, el verano es fresco y largo, la variación u oscilación de temperatura entre el mes más frío y el mes más caliente del año es menor a 5°C y que la mayor temperatura en el año se presenta antes del solsticio de verano.

Por la oscilación térmica, el clima es considerado isotermal y presenta una marcha anual de la temperatura tipo Ganges, es decir, el mes más caliente es antes del Solsticio de Verano y por lo tanto se considera Intertropical (Noyola y Méndez, 2005).



Entre los meses de noviembre y febrero se presentan numerosas heladas. La temperatura media anual es de 13.2 °C; el mes más frío es enero con temperatura de 10.9°C y el más cálido es abril con 15.4°C. La precipitación anual es de 1,092 mm, concentrándose el 90% durante los meses de abril a octubre y donde febrero es el mes más seco con 8.6 mm y julio el más lluvioso con 228.8 mm (Chávez y Trigo, 1996). Los vientos dominantes son de norte a sur en el invierno y durante los meses de agosto y septiembre, los cuales varían de oeste a este de marzo a julio, así como también en octubre y noviembre (Noyola y Méndez, 2005).

5.3 Fisiografía

El “Cerro El Faro” se encuentra en la Sierra Nevada, parte del eje Neovolcánico Transversal, en la Cuenca del Valle de México, formada por sierras volcánicas que se levantaron una tras otra en círculo, y que la Sierra Chichinautzin cerró hace 600,000 años, de tal manera que esta cuenca no tiene salida natural al mar (Moctezuma y González, 2007).

La geomorfología del “Cerro El Faro” tiene el mismo origen que la geomorfología del Volcán Iztaccíhuatl, resultado de diferentes y complejos procesos de erosión, ocasionados principalmente por erupciones volcánicas, deshielo de glaciares y los provocados por corrientes fluviales (Noyola y Méndez, 2005).



5.4 Geología

La masa geológica está formada generalmente por capas de andesita de hornblenda e hiperstena sobre un núcleo de dacitas, alcanzando las andesitas un gran espesor. Las andesitas son lavas de tipo ácido que constituyen la forma de relieve más común en México. La roca de esta lava de tipo ácido que constituye la forma de relieve más común en México. La roca de lava es dura y con diaclasas, esto es con fisuras de contracción que permiten la infiltración que la hace bastante permeable. Las andesitas son una transición entre las riolitas y los basaltos que son rocas extrusivas básicas de variada coloración que contienen fenocristales de feldespatos de olivino y piroxena.

El material geológico es principalmente basalto y brecha volcánica dando origen a suelos volcánicos como el andosol ócrico, pobre en materia orgánica y muy susceptibles a la erosión y también hay suelos aluviales; presenta una fisiografía de colinas, solo cuenta con corrientes intermitentes contaminadas que se integran al río Tlalmanalco (Moctezuma y González, 2007).

En la cima se presentan rocas volcánicas del terciario, su gran masa está constituida por cenizas volcánicas, tobas y pómez, en el somonte está compuesto por derrames volcánicos del cuaternario (Yarza, 1984; Montero García, 2002).

5.5 Suelos

El tipo de suelo predominante en el “Cerro El Faro” es el Andosol Ócrico, caracterizado por ser producto de cenizas volcánicas, pobre en materia orgánica, con retención de fósforo y muy susceptible a la erosión (Burns, 2000).



En el Parque Estatal se encuentra una capa superficial u horizonte 0, rico en materia orgánica compuesta principalmente por los restos de la vegetación local. El horizonte A, medianamente rico en materia orgánica, generalmente es de color oscuro, y se percibe que es de textura franco-arenosa (Moctezuma y González, 2007).

Andosol, de las palabras japonesas *an*: oscuro y *do*: tierra. Son suelos de origen volcánico, constituidos principalmente de ceniza, la cual contiene alto contenido de alófono, que le confiere ligereza y untuosidad al suelo. Son generalmente de colores oscuros y tienen alta capacidad de retención de humedad. En condiciones naturales presentan vegetación de bosque o selva. Tienen generalmente bajos rendimientos agrícolas debido a que retienen considerablemente el fósforo y este no puede ser absorbido por las plantas.

También se tienen algunas áreas con suelo someros de Litosol, del griego *lithos*: piedra. Son los suelos más abundantes del país, ocupa 22 de cada 100 hectáreas de suelo. Se encuentra en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, en todas las sierras de México, barrancas, lomeríos y en algunos terrenos planos. Se caracteriza por su profundidad menor de 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión son muy variable dependiendo de otros factores ambientales.



5.6 Vegetación

Los bosques templados, se distribuyen en la parte media de las faldas de las montañas, en cuya parte alta están dominados por las coníferas, debido a su mayor tolerancia al frío.

El bosque mixto es característico de la parte alta de la Sierra Nevada, teniendo su óptimo crecimiento entre los 2,300 y los 2,800 msnm. La vegetación típica de este ecosistema la conforman principalmente las coníferas y encinos, que también constituyen los bosques templados.

El tipo de vegetación es un bosque templado, perturbado, con algunos sitios de pastizal inducido y con un grado de perturbación principalmente por las actividades humanas, incluyendo una reforestación de eucaliptos.

Se han registrado 194 especies de plantas vasculares: 13 helechos, seis gimnospermas y 176 angiospermas, pertenecientes a 56 familias y 119 géneros. De las especies registradas seis son introducidas o exóticas (Chimal-Hernández, 2013).

Bosque de *Quercus* y bosque de coníferas (Rzendowsky, 2006)

Para Rzendowsky (2006), constituyen la mayor parte de la cubierta vegetal de áreas de clima templado y semihúmedo. Son frecuentes en las zonas de clima templado y frío del hemisferio boreal, caracterizan muchos sectores del territorio de México, donde presentan amplia diversidad florística y ecológica. Se les encuentra prácticamente desde el nivel del mar hasta el límite de la vegetación



arbórea; prosperan en regiones de clima semiárido, semihúmedo y francamente húmedo.

Los encinares guardan relaciones complejas con los pinares, con los cuales comparten afinidades ecológicas generales y los bosques mixtos de *Quercus* y *Pinus* son muy frecuentes en el país.

La similitud de las exigencias ecológicas de los pinares y de los encinares da como resultado que los dos tipos de bosques ocupen nichos similares, que se desarrollen con frecuencia uno al lado del otro, formando intrincados mosaicos y complejas interrelaciones sucesionales y que a menudo se presenten en forma de bosques mixtos, todo lo cual dificulta su interpretación y cartografía precisa.

Restringiendo la caracterización climática, las masas forestales pueden aproximarse a los límites entre 10 y 20°C de temperatura media anual y entre 600 y 1000 mm de lluvia al año, lo cual correspondería al tipo Cw de la clasificación de Koeppen (1948).

Se observa sobre diversas clases de roca madre, tanto ígneas antiguas y recientes, sedimentarias y metamórficas, así como suelos profundos de terrenos aluviales planos.

Típicamente el suelo es de reacción ácida moderada (5.7). El color del suelo, su textura y el contenido en nutrientes presentan variaciones considerables de un lugar a otro; se puede encontrar desde arcilla a arena, las tierras rojas, derivadas de basaltos, así como las andesitas que producen a menudo coloraciones cafés y texturas más livianas. Los suelos negros o muy oscuros también son frecuentes.



Se pueden desarrollar sobre litosoles de corriente de lava de escasa edad o bien sobre pendientes pronunciadas y peñascos, crecen muy bien en suelos profundos; no toleran las deficiencias de drenaje.

5.7 Fauna

Para Moctezuma y González, (2007), el parque estatal “El Faro” se presenta en una zona geográfica donde el número de especies endémicas es alto, sin embargo, no existe información específica para el área.

Mastofauna. El orden mejor representado es el Rodentia con tres familias Sciuridae (*Sciurus* sp.), Geomidae (*Pappogeomys merriami*) y Cricetidae (*Reithrodontomys* sp., *Neotomodon* sp. y *Peromyscus* sp. Seguido del orden Lagomorfa con la familia Leporidae (*Sylvilagus florindanus*). Además, se encontraron individuos del orden Edentata, como armadillos de la familia Dasypodidae (*Dasyus novencinctus*) y del orden Quiroptera (*Corynorhinus mexicanus*) (Ceballos, 1984).

Ornitofauna. Se presentan 20 familias, la familia más representada es Parulidae con 22% de las especies reportadas. Se presentan tres especies que se encuentran dentro de alguna categoría de la NOM-059-SEMARNAT-2001.

Herpetofauna. Se encuentran especies de la familia Bufonidae (*Bufo* sp.), Colubridae (*Conopsis* sp. y *Thamophis* sp.) y Prynomatidae (*Sceloporus* sp.).



6. Metodología

6.1 Trabajo de campo

Para realizar este trabajo se eligió al Parque Estatal “El Faro”, en donde se presenta Bosque Templado y es considerado como zona de conservación.

Inicialmente se realizó una visita prospectiva para el reconocimiento de las zonas a trabajar, en esta visita se tomaron algunos datos para la determinación de los sitios de muestreo.

Se determinaron los sitios de muestreo, posicionándose de forma aleatoria, con una distancia de 150 metros entre cada uno.

Una vez determinados los rodales en cada uno de ellos se llevó a cabo, un muestreo por conglomerados, para lo cual se utilizó la metodología propuesta por la Comisión Nacional Forestal para el Inventario Forestal y de Suelo de CONAFOR (2010) en donde, se ubica un punto central seleccionado de una rejilla de puntos, cada conglomerado, es una parcela circular de 56.42 m de radio, lo que equivale a una hectárea, en donde se seleccionan cuatro sitios de muestreo, que son las Unidades de Muestreo Secundarias (UMS), dispuestos geoméricamente en forma de una “Y” invertida con respecto al Norte.

Cada sitio de muestreo que conforma el conglomerado (Fig. 9), es de 10,000 m² (radio= 56.42 m), en donde se mide y registra el arbolado, cuyo diámetro normal sea igual o mayor a 10 cm.

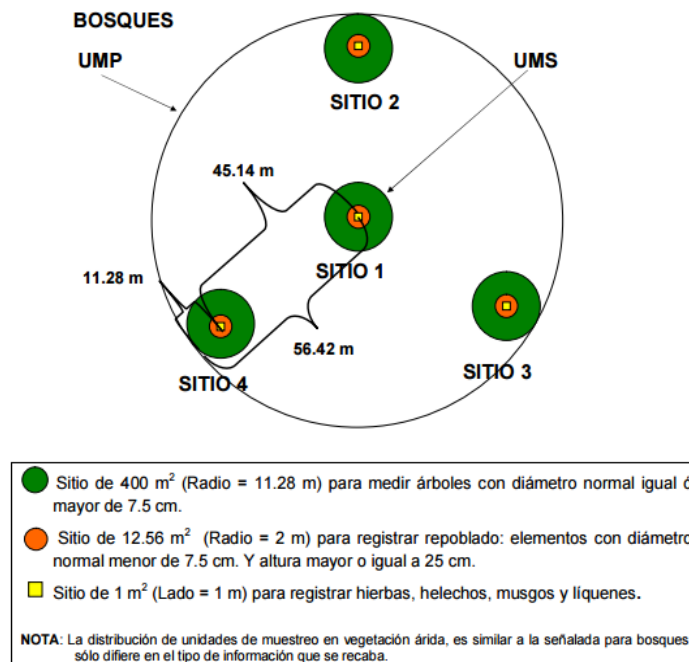


Figura 9. Muestreo por conglomerado (CONAFOR, 2010)

En los rodales delimitados y usando el muestreo por conglomerados se procedió a obtener las variables dasométricas de cada uno de ellos, estas variables fueron: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura, peso.

Además de cada árbol se tomó una muestra en el DAP, con un taladro Pressler, obteniendo una viruta como muestra, para ser llevada al laboratorio. El orificio hecho fue cubierto con cera de Campeche, para evitar la entrada de agentes patógenos.

Se seleccionaron tres árboles de las especies *Cupressus lusitanica*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus leiophylla*, *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Pinus pseudostrobus* (en total 18 árboles), se cortaron en la base, se tomaron medidas dasométricas, se cortaron en la base y se pesaron, hojas, ramas y tronco, con una báscula digital.



6.2 Trabajo de laboratorio

Para realizar la rodalización, se utilizaron los datos de diámetro, altura, edad. La edad se determinó por medio de las muestras tomadas del tronco (virutas), las cuales se lijaron para poder contar los anillos de crecimiento.

Para la determinación de la calidad del sitio, se consideraron los factores del clima (precipitación y temperatura), altitud, exposición, pendiente, suelo, así como características propias del rodal.

Debido a que la zona de estudio es un Área Natural Protegida se realizó un muestreo adicional, tomando algunos de los árboles que se removieron en las prácticas de aclareo y sanidad del bosque, con la finalidad de tomar datos sobre los pesos seco y fresco, para posteriormente utilizar ecuaciones matemáticas que permitirán determinar las variables dependientes a partir de la medición del diámetro normal y altura total de los árboles.

De los 18 árboles (tres por especie), se cortaron y midieron (altura, peso). Se secaron a 60 °C hasta obtener un peso seco constante. Se pesaron y se obtuvo la relación peso húmedo-peso seco.

Con esta información se procedió a la determinación del contenido de carbono en las especies seleccionadas, para lo cual se utilizaron diversas ecuaciones (Anexo II):

Para el cálculo de biomasa y contenido de carbono de *Cupressus lusitanica Mill.*, se utilizará la ecuación propuesta por la FAO (2013).



Para el cálculo de la biomasa y contenido de carbono en *Pinus ayacahuite* Ehren, se utilizó la ecuación propuesta por Miguel-Martínez *et al.*, (2016).

Para *Pinus leiophylla* Schl. & Cham. , se utilizó la ecuación propuesta por Silva-Arredondo y Navar-Cháidez (2009), para *Pinus spp.*, para calcular la bioma y el contenido de carbono.

Para *Pinus montezumae* Lamb. Lamb., se utilizaron las ecuaciones propuestas por Carrillo-Azurez *et al.*, (2014) con ellas se obtuvo la biomasa y el contenido de carbono.

Para el cálculo de biomasa y contenido de carbono en la especie *Pinus patula* Schl. et Cham, se utilizaron las ecuaciones obtenidas por Díaz-Franco *et al.*, (2007).

Para el cálculo de CO₂ se utilizó la ecuación presentada por Brown, (1986; Anexo II).

También se estimaron los índices de Margalef, Simpson y Shannon-Wiener.



Capítulo IV

7. Resultados

Se muestrearon 16 puntos en el Cerro El Faro, cuya localización se observa en la figura 10:

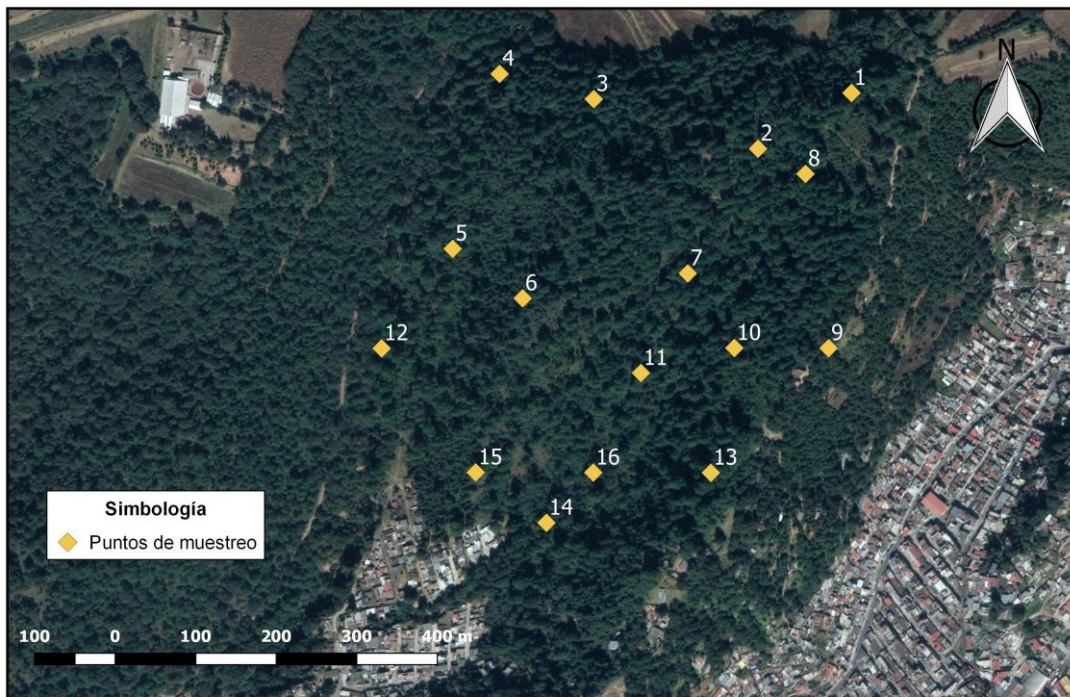


Figura 10. Puntos muestreados en el parque estatal “El Faro”, Tlalmanalco, México, México

Rodalización e Inventario

Dentro de los puntos de muestreo observamos diferentes especies que conforman cada rodal muestreado. Así tenemos que para el sitio 1 (donde se muestrearon más individuos), se presentan seis especies diferentes, en comparación con el sitio 13 que presenta dos especies.



De cada punto se realizó el muestreo en conglomerado, obteniendo en total 272 individuos, la información de estas muestras se presenta en las Tablas correspondientes en el anexo I.

En la zona se identificaron siete especies de coníferas, cuya distribución porcentual se observa en la Fig. 11:

- *Cupressus lusitanica* Mill. (29.68%)
- *Pinus ayacahuite* Ehren (9.76%)
- *Pinus leiophylla* Schl. & Cham. (24.28%)
- *Pinus montezumae* Lamb. Lamb. (0.78%)
- *Pinus patula* Schl. et Cham (10.93%)
- *Pinus pseudostobus* (24.21%)
- *Pinus teocote* Schiede ex Schltidl (0.39%)

Graficamente tenemos:

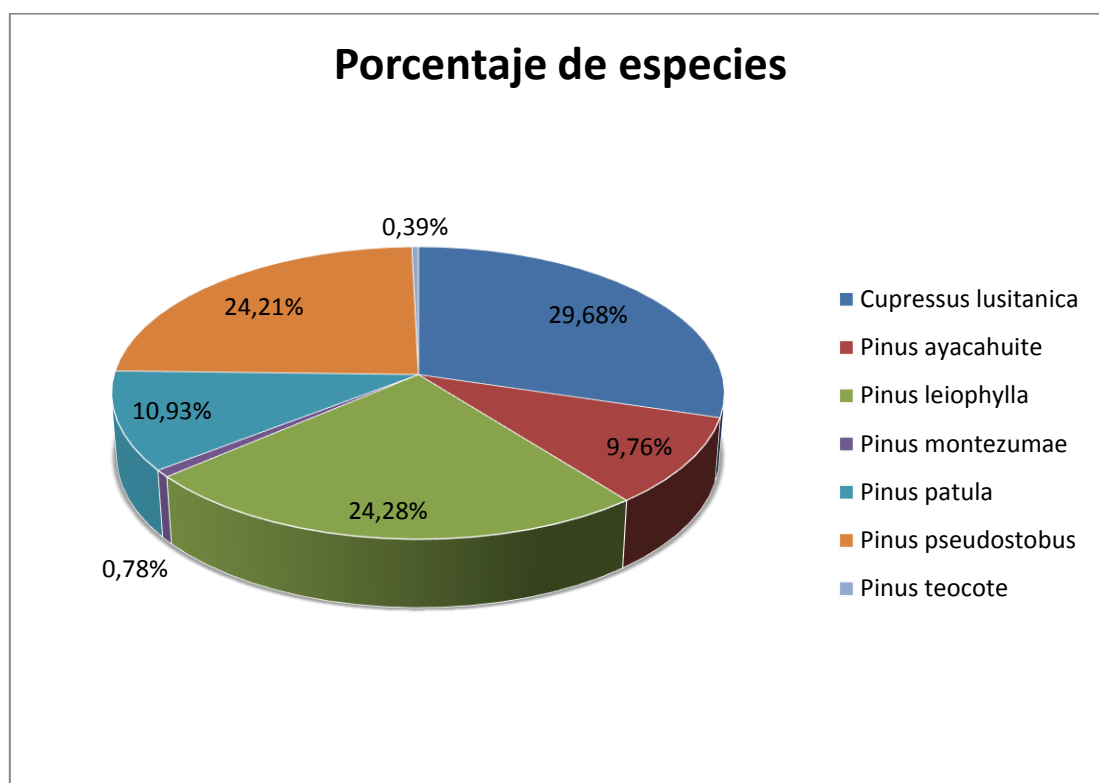


Figura 11. Porcentaje de especies muestreadas en el parque estatal “El Faro”, Tlalmanalco, México, México

Se aprecia que las especies más abundantes son *Cupressus lusitanica* Mill., *Pinus pseudostobus* Lindl. y *Pinus leiophylla* Schl. & Cham., seguidos por *Pinus patula* Schl. et Cham que es producto de reforestaciones pasadas, y *Pinus ayacahuite* Ehren y en numeros menores se tiene a *Pinus montezumae* Lamb. Lamb. y *Pinus teocote* Schiede ex Schltldl.

De acuerdo a lo mostrado en la tabla 2, para *Cupressus lusitanica* Mill. se observa que ésta en casi todos los puntos de muestreo a excepción del punto 12, que es un sitio poco accesible, por lo tanto, no pudieron reforestar en este lugar.



Tabla 2. Medidas para *Cupressus lusitanica* Mill.

Medidas	Diámetro (DAP m)	Altura (m)	Anillos de crecimiento (total)	Anillos de crecimiento en 2.5 cm	Puntos de muestreo en donde se presenta
Promedio	42.80	19.51	44.66	10	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 20
Máximo	82	32	82	17	
Mínimo	9.80	4	8	3	

Para *Pinus ayacahuite* Ehren, se presentan las medidas en la tabla 3, solo se presenta esta especie en la mitad de los puntos muestreados.

Tabla 3. Medidas para *Pinus ayacahuite* Ehren

Medidas	Diámetro (DAP m)	Altura (m)	Anillos de crecimiento (total)	Anillos de crecimiento en 2.5 cm	Puntos de muestreo en donde se presenta
Promedio	58.55	25.89	52.20	9	1, 2, 4, 7, 8, 10, 11, 16
Máximo	73.30	34.10	71	17	
Mínimo	11.70	9	18	3	

Para *Pinus leiophylla* Schl. & Cham. Se presentan las medidas tabla 4, se encuentra en 14 de los 16 sitios muestreados, no es una especie que necesite condiciones específicas para crecer, además es utilizada para restaurar suelos degradados (CONABIO, 2007c)

Tabla 4. Medidas para *Pinus leiophylla* Schl. & Cham.

Medidas	Diámetro (DAP m)	Altura (m)	Anillos de crecimiento (total)	Anillos de crecimiento en 2.5 cm	Puntos de muestreo en donde se presenta
Promedio	39.76	18.19	39.46	10.39	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 20
Máximo	93.30	30	78	25	
Mínimo	10.10	3	11	4	



Para *Pinus montezumae* Lamb. Se presentan las medidas en la tabla 5, se observa que solo se encontraron árboles jóvenes, además de pocos individuos, solo en un punto de muestreo (15), esto es un indicador de que es una especie reforestada.

Tabla 5. Medidas para *Pinus montezumae* Lamb.

Medidas	Diámetro (DAP m)	Altura (m)	Anillos de crecimiento (total)	Anillos de crecimiento en 2.5 cm	Puntos de muestreo en donde se presenta
Promedio	19.55	13.5	19.5	6.5	15
Máximo	21.40	16	20	7	
Mínimo	17.70	11	19	6	

Para *Pinus patula* Schl. et Cham, se presentan las medidas en la tabla 6, se encontraron individuos jóvenes, solo en tres puntos de muestreo, fueron plantados con poco espacio entre ellos, lo cual provoca competencia entre los individuos.

Tabla 6. Medidas para *Pinus patula* Schl. et Cham

Medidas	Diámetro (DAP m)	Altura (m)	Anillos de crecimiento (total)	Anillos de crecimiento en 2.5 cm	Puntos de muestreo en donde se presenta
Promedio	13.53	7.24	8.62	4.15	1, 8, 16,
Máximo	41.30	16	25	8	
Mínimo	10	4	3	2	

Para *Pinus pseudostrobus* Lindl. se presentan las medidas en la tabla 7, crece en suelos profundos derivados de material volcánico, bien drenados, se encuentra en todos los puntos y presenta una de las mayores medidas de DAP.

Tabla 7. Medidas para *Pinus pseudostrobus* Lindl.



Medidas	Diámetro (DAP m)	Altura (m)	Anillos de crecimiento (total)	Anillos de crecimiento en 2.5 cm	Puntos de muestreo en donde se presenta
Promedio	49.95	22.24	44.95	11	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 16, 17, 20
Máximo	97.20	36	67.0	29	
Mínimo	10	6	10.	5	

Para *Pinus teocote Schiede ex Schltdl*, se presentan las medidas en la tabla 8, solo se presenta en un punto de muestreo y solo se encontró un individuo.

Tabla 8. Medidas para *Pinus teocote Schiede ex Schltdl*

	Diámetro (DAP m)	Altura (m)	Anillos de crecimiento (total)	Anillos de crecimiento en 2.5 cm	Puntos de muestreo en donde se presenta
Medidas	46.20	22.50	56	10	1

Al graficar los datos promedio de DAP, obtenemos (Fig. 12):

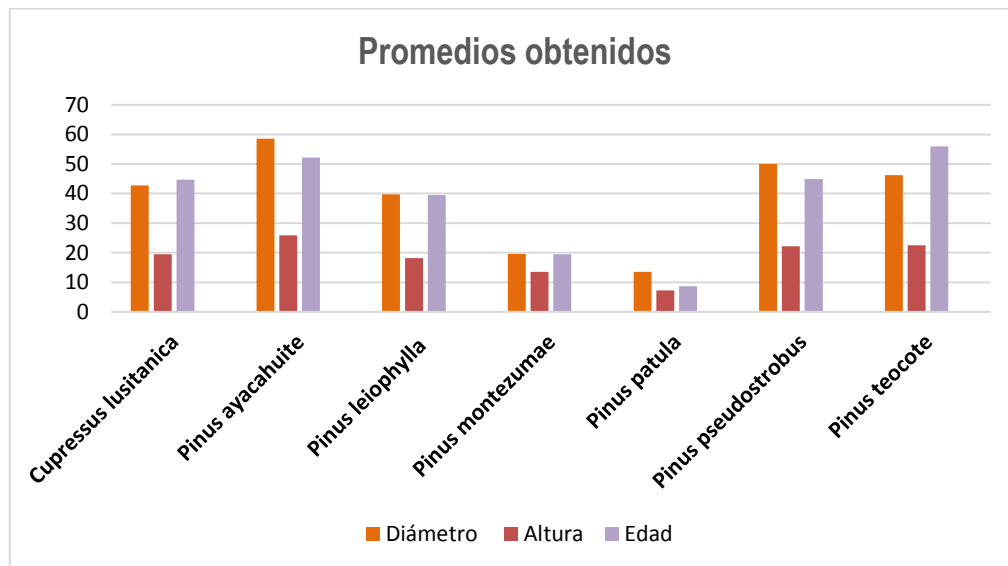


Figura. 12. Promedios en cada especie de diámetro, altura y edad en el parque estatal “El Faro”, Tlalmanalco, México, México



Se observa que la especie que presenta los diámetros mayores son *Pinus ayacahuite Ehren*.

Pinus ayacahuite Ehren es la especie que presenta el mayor diámetro con 58.55 cm, seguido de *Pinus pseudostrobus Lindl.* con 50 cm y *Pinus teocote Schiede ex Schltl* con 46 cm. Para altura se tiene que la especie con más altura es también *Pinus ayacahuite Ehren* con 26 m, seguido de *P. pseudostrobus* con 22 m; y para edad los más longevos son *Pinus pseudostrobus Lindl.*, seguido de *P. ayacahuite* y *Cupressus lusitanica Mill.*, con 52, 45 y 45 respectivamente (Fig.13).

Al graficar los datos de todos los arboles muestreados encontramos:

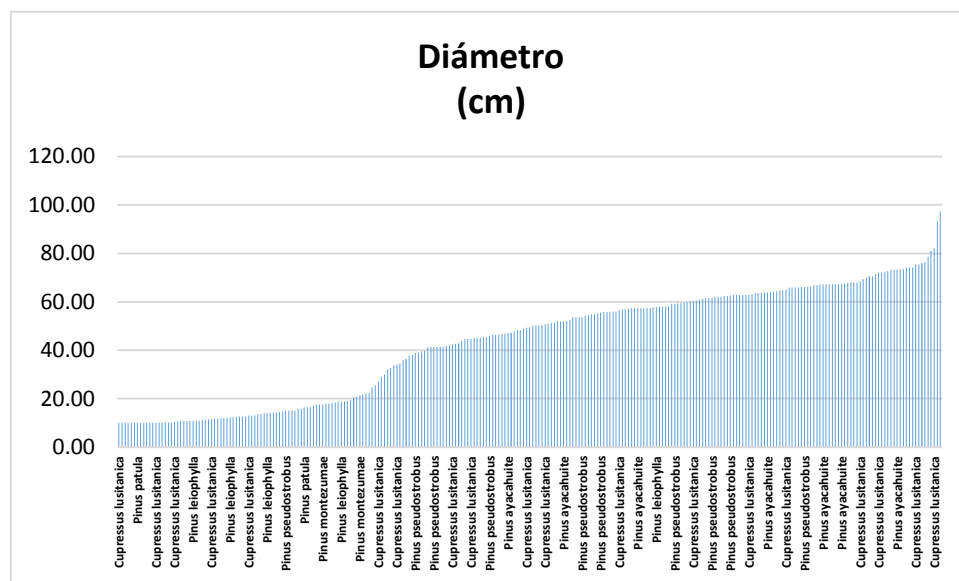


Fig. 13. Diámetros presentes en las especies presentes en el parque estatal "El Faro", Tlalmanalco, México, México

Evaluación

Para calcular el CO₂, primero se tuvieron que calcular diversas variables. Se realizó el cálculo del área basal (Tabla 9); para la calidad de sitio, se calculó el Índice de Sitio (Tabla 9), para el contenido de carbono en las especies



estudiadas se utilizó la metodología propuesta por diversos autores, mencionados anteriormente, teniendo en la columna de contenido de carbono la propuesta de los autores que manejan las especies en forma individual, y en la columna de CO₂, se calculo el contenido de carbono con la propuesta de Brown (1989), de los datos que se muestran en la Tabla. 9.



Tabla 9. Características de las especies por sitio, en el parque estatal “El Faro”, Tlalmanalco, México, México

Punto de muestreo o rodal	Coordenadas (UTM, WGS 84)		No. De Individuos	Especies	Índice de Sitio (m)	Calidad de Sitio	Área Basal (m ² /ha)	Biomasa (Mg/ha)	Contenido de Carbono (Mg/ha)	CO ₂ (Mg/ha)
1	525635	2124827	70	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren <i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham. <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. <i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schlttdl	19.6997	Baja	44.4958	63.2692	5191.7231	2463.5803
2	525519	2124758	24	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren <i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham. <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	26.9052	Regular	15.4735	19.8663	2722.3405	3086.6776
3	525315	2124819	11	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	31.3976	Muy Buena	13.9449	9.0113	4489.6731	14164.5776
4	525198	2124850	17	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren <i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham. <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	30.4636	Muy Buena	11.9861	12.8895	3217.7164	6905.1645
5	525140	2124634	3	<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham. <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	30.2215	Muy Buena	3.8827	7.8904	3.6643	41.7253



Punto de muestreo o rodal	Coordenadas (UTM, WGS 84)		No. De Individuos	Especies	Índice de Sitio (m)	Calidad de Sitio	Área Basal (m ² /ha)	Biomasa (Mg/ha)	Contenido de Carbono (Mg/ha)	CO ₂ (Mg/ha)
6	525227	2124573	18	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. <i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham. <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	27.1162	Buena	16.5072	30.0747	1543.4726	4518.7795
7	525432	2124604	26	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren <i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham. <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	26.9093	Regular	19.4599	28.3086	3201.5749	9739.3429
8	525578	2124727	10	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	29.1197	Buena	13.9683	14.1847	556.8582	194.4466
9	525607	2124512	11	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. <i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham. <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	21.5939	Baja	2.5757	3.7564	584.9070	620.5628
10	525490	2124512	15	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren <i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	31.0047	Muy buena	17.6158	12.7245	4868.9011	15130.1868
11	525374	2124481	14	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren <i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	30.9563	Muy buena	17.3416	16.0836	3635.5674	7034.2034



Punto de muestreo o rodal	Coordenadas (UTM, WGS 84)		No. De Individuos	Especies	Índice de Sitio (m)	Calidad de Sitio	Área Basal (m ² /ha)	Biomasa (Mg/ha)	Contenido de Carbono (Mg/ha)	CO ₂ (Mg/ha)
12	525052	2124511	10	<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham. <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	26.6573	Regular	7.6479	15.4880	7.1954	65.7740
13	525461	2124358	5	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	30.1138	Muy buena	5.2627	10.9256	546.1205	1399.4223
14	525257	2124296	10	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. <i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham. <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	25.3988	Regular	10.6616	23.0419	552.5105	2361.9955
15	525169	2124358	8	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. <i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham. <i>Pinus montezumae</i> Lamb. Lamb.	27.0013	Buena	3.9958	6.1030	147.8235	70.1440
16	525315	2124358	19	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren <i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham. <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	19.3114	Baja	6.5229	6.6596	1111.3157	261.3567



Calidad de sitio

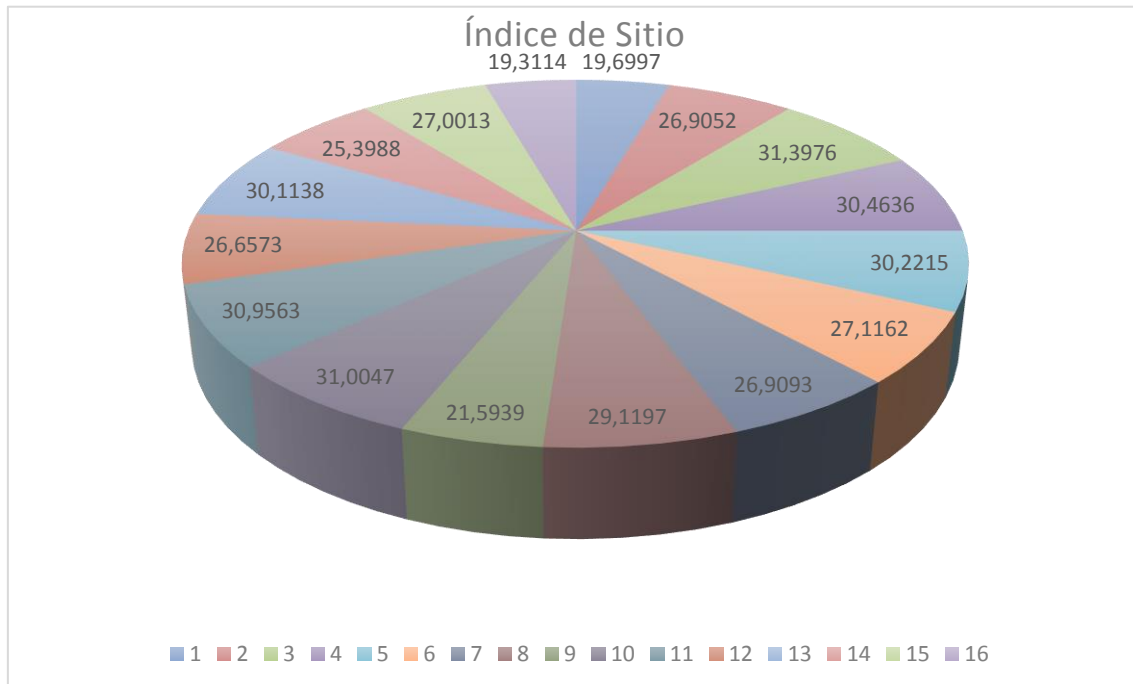


Figura 14. Gráfica del Índice de sitio en el parque estatal “El Faro”,
 Tlalmanalco, México, México

Para definir la calidad de sitio de cada punto, primero se hizo el cálculo del índice de sitio, en donde se observa que el valor más alto se presenta en el punto 11, seguido del punto 15 (Fig. 14).

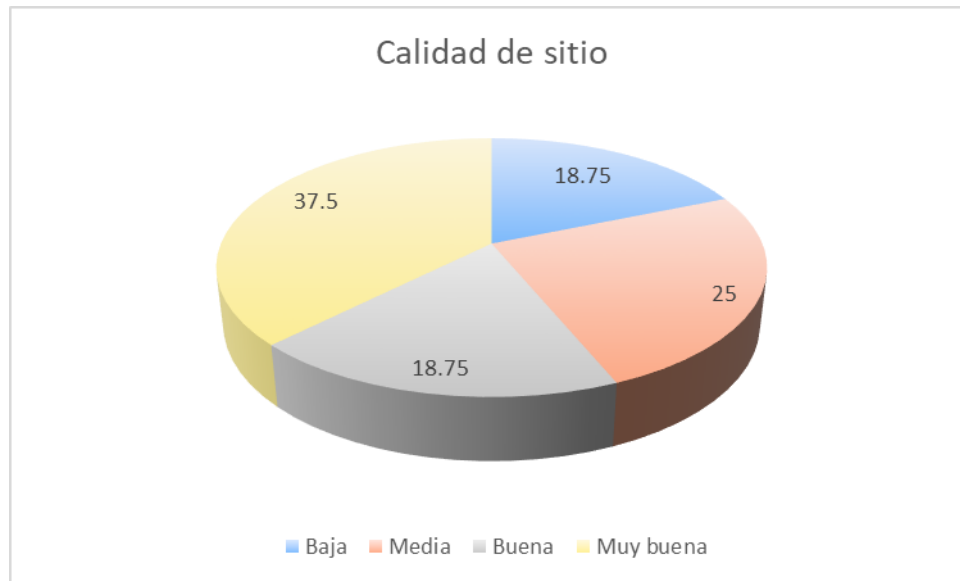


Figura 15. Gráfica calidad de sitio en el parque estatal “El Faro”, Tlalmanalco, México, México

De los puntos muestreados se observa que el 18.75% de los sitios muestreados (1,9 y 16) presentan una calidad de sitio baja, el 25% (2, 7, 12 y 14) tienen una calidad de sitio media, 18.75% de los sitios (6, 8 y 15) tienen una calidad de sitio buena y 37.5 % de ellos (3, 4, 5, 10, 11 y 13) presenta una calidad de sitio muy buena (Fig. 15).

La distribución de estas calidades se muestra en la figura 16:

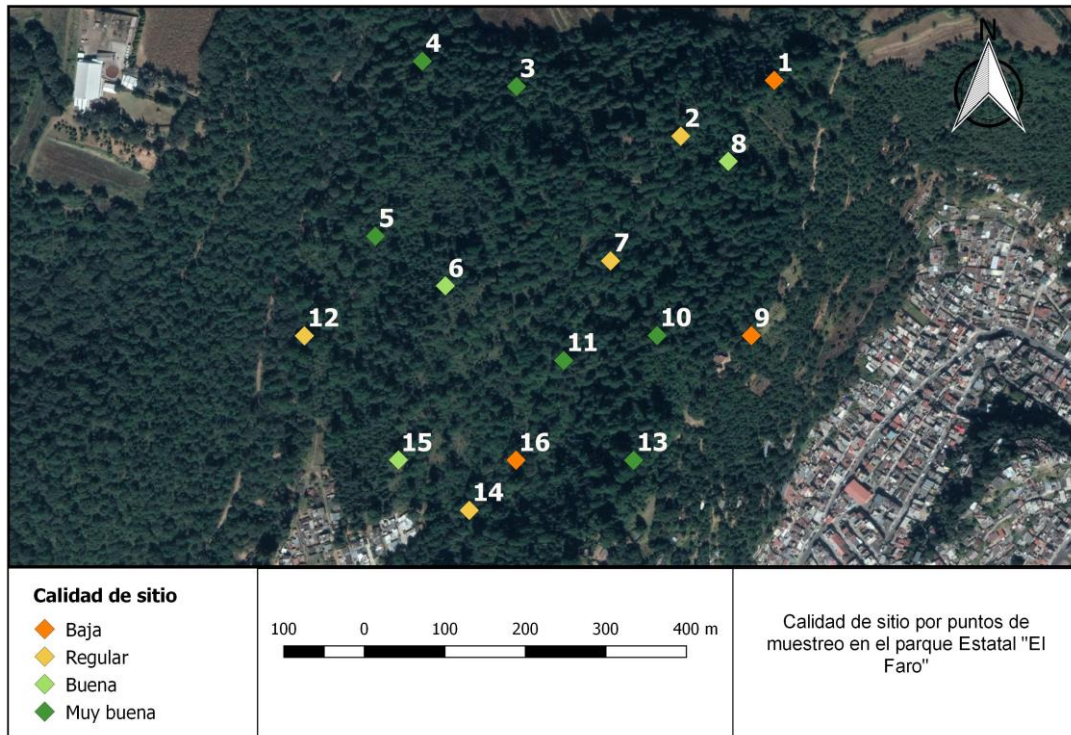


Figura 16. Distribución de la Calidad de Sitio en en el parque estatal “El Faro”, Tlalmanalco, México, México

Observamos que la calidad de sitio baja se localiza en la exposición Este del Parque, coincidiendo además por la zona en donde se tiene un paso constante de personas, que además de pasar, realizan algunas actividades como ocoteo y compactación del suelo. La calidad Buena y Muy Buena la encontramos en la parte Media y Norte del Parque que son las zonas por donde pasa menos personas, se tiene una exposición Oeste, Norte y Sur, estando la zona más conservada, asimismo se tiene la colindancia con el ejido y con una barranca que proporciona más humedad a los sitios. La Calidad Media se encuentra dispersa en el Parque, localizándose en zonas conservadas, pero que a su vez están sometidas al paso de personas.



Biomasa

Para calcular la biomasa se realizan diversos calculos, iniciando por el Area Basal, cuya variación por sitio se presenta en la siguiente gráfica:

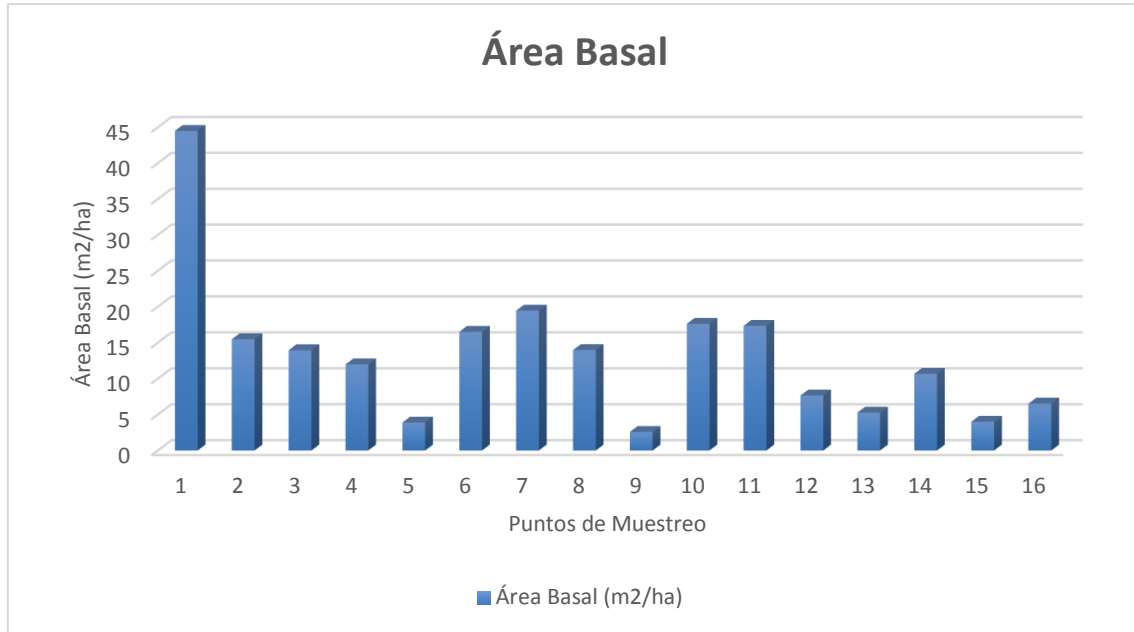


Figura 17. Área Basal de los rodales en el parque estatal “El Faro”,
 Tlalmanalco, México, México

El valor mayor del área basal se presenta en el rodal 1, en donde se muestrearon el mayor número de árboles (70), en donde el área basal es de 44.4958 m²/ha. En el rodal 5 es en donde solo se muestrearon 3 individuos y presenta 3.8827 m²/ha (Fig. 17).

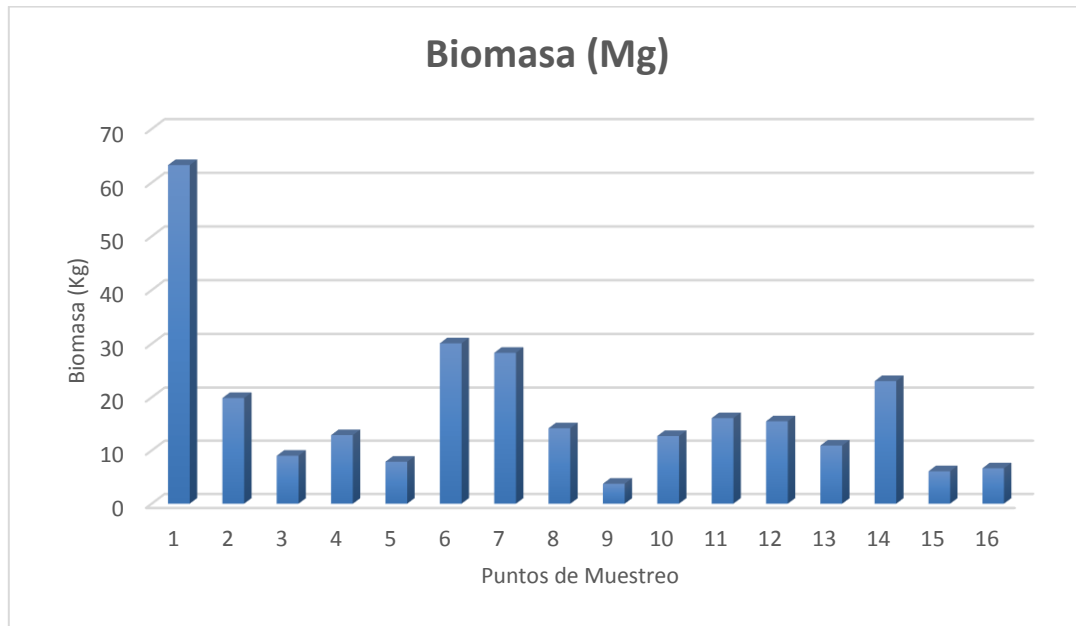


Figura 18. Gráfica de Biomasa por rodal en el parque estatal “El Faro”,
 Tlalmanalco, México, México

Los resultados obtenidos para la biomasa en cada una de las especies, por punto de muestreo (Fig. 18).

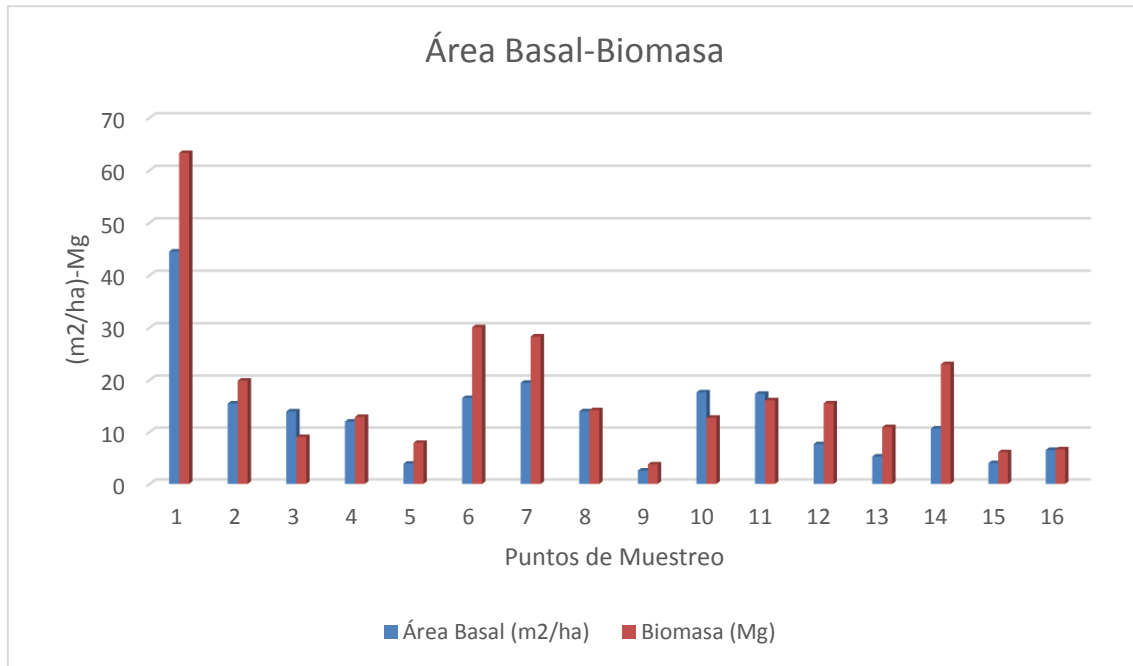


Figura 19. Relación Área Basal-Biomasa en los rodales del parque estatal “El Faro”, Tlalmanalco, México, México

El rodal 1 tiene un número mayor de individuos muestreados (70 en total) con un área basal de 44.4958 m²/ha, 63.2692 Mg/ha de biomasa en comparación con el punto 5 en donde se muestreo el menor número de individuos (3) con un área basal de 3.8827 y 7.8904 Mg/ha de biomasa.



Contenido de Carbono

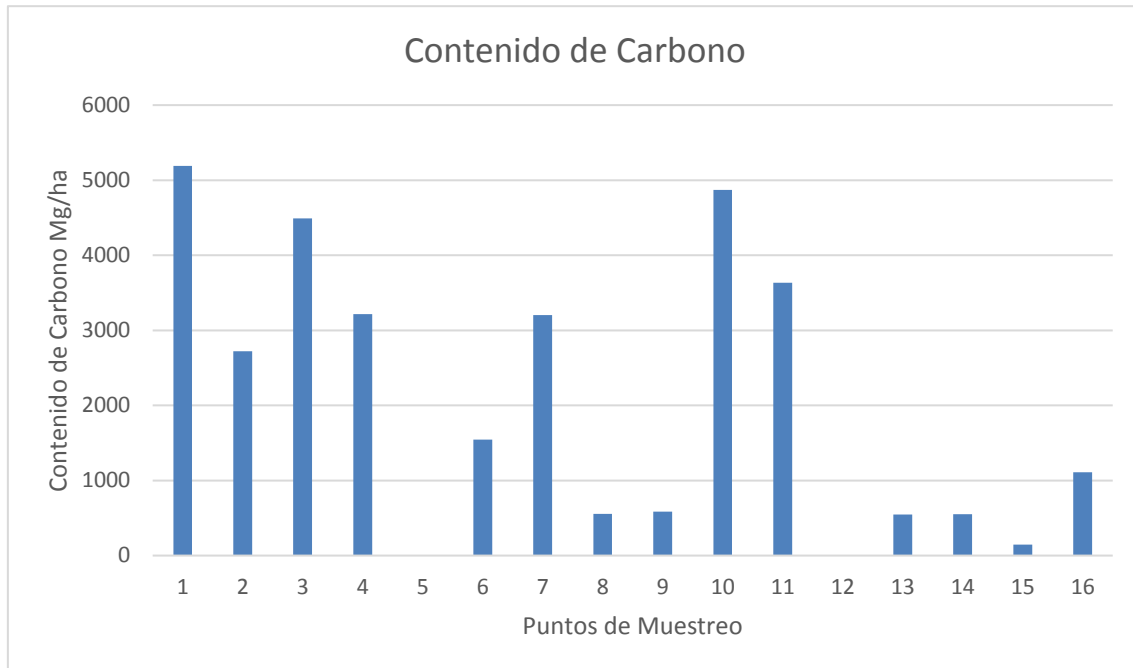


Figura 20. Contenido de carbono de los rodales en el parque estatal “El Faro”, Tlalmanalco, Estado de México, México

La cantidad de carbono que se presenta varía dependiendo del número de árboles que componen el punto de muestreo, del DAP que presentan y de la especie, así se presentan puntos de muestreo que van desde 3 hasta 50,000 toneladas (Fig. 20).

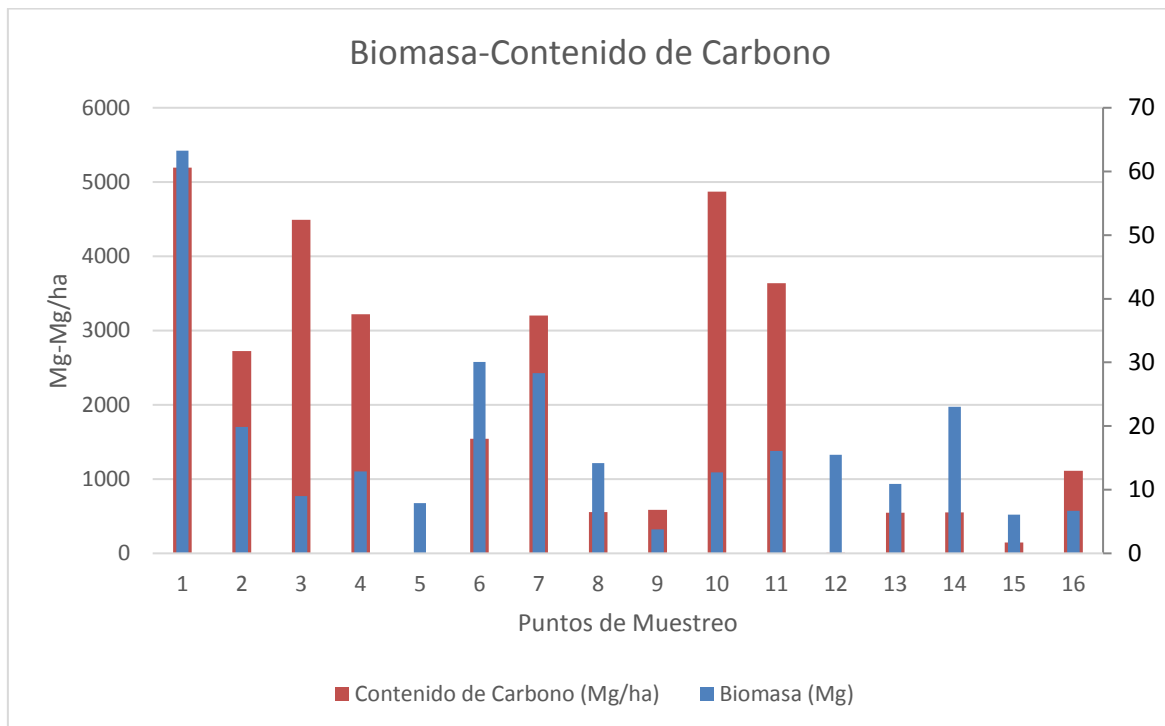


Figura 21. Relación Biomasa-Contenido de Carbono en los rodales del parque estatal “El Faro”, Tlalmanalco, México, México

Se observa que el valor más alto en biomasa se obtuvo en el punto 1 en donde además tenemos el mayor número de árboles muestreados (70) y donde se presentan seis de las siete especies presentes en toda el área de estudio, en este sitio se presentan 63.2692 Mg/ha de biomasa y 5191.7231 Mg/ha de contenido de carbono. Si se compara con el punto 7 que es el sitio muestreado con mayor número de árboles (26 individuos) y de especies (cinco de las siete especies), este sitio presenta 28.3086 Mg/ha de biomasa y 3201.5749 Mg/ha de contenido de carbono (Fig. 21).

Bióxido de Carbono

En las figuras 22 y 23, se presentan los resultados obtenidos en utilizando la metodología propuesta por Brown (1986).

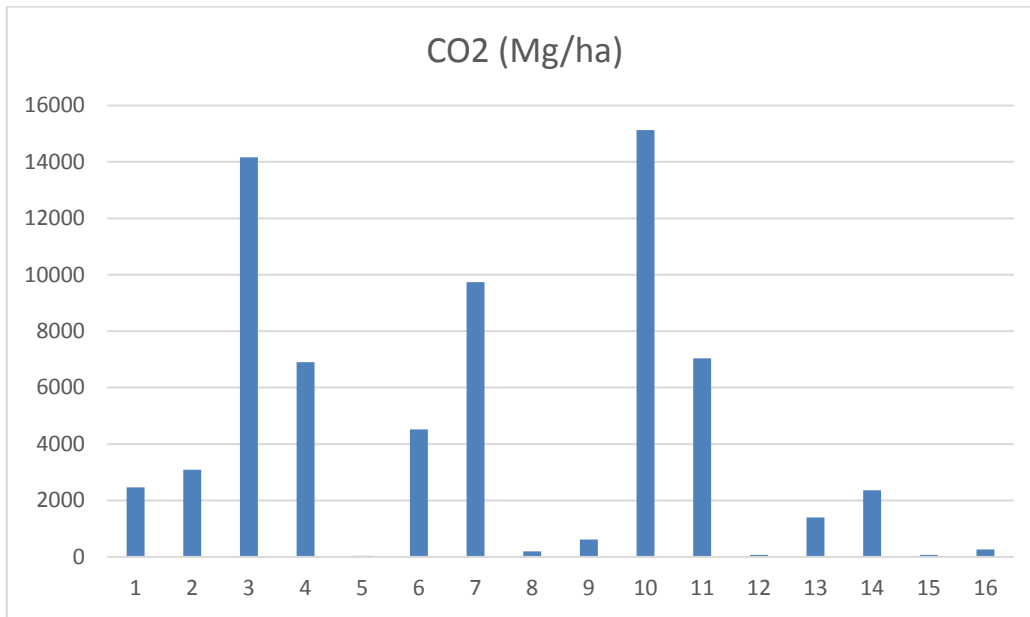


Figura 22. Bióxido de Carbono presente en cada rodal muestreado en el parque estatal “El Faro”, Tlalmanalco, Estado de México, México

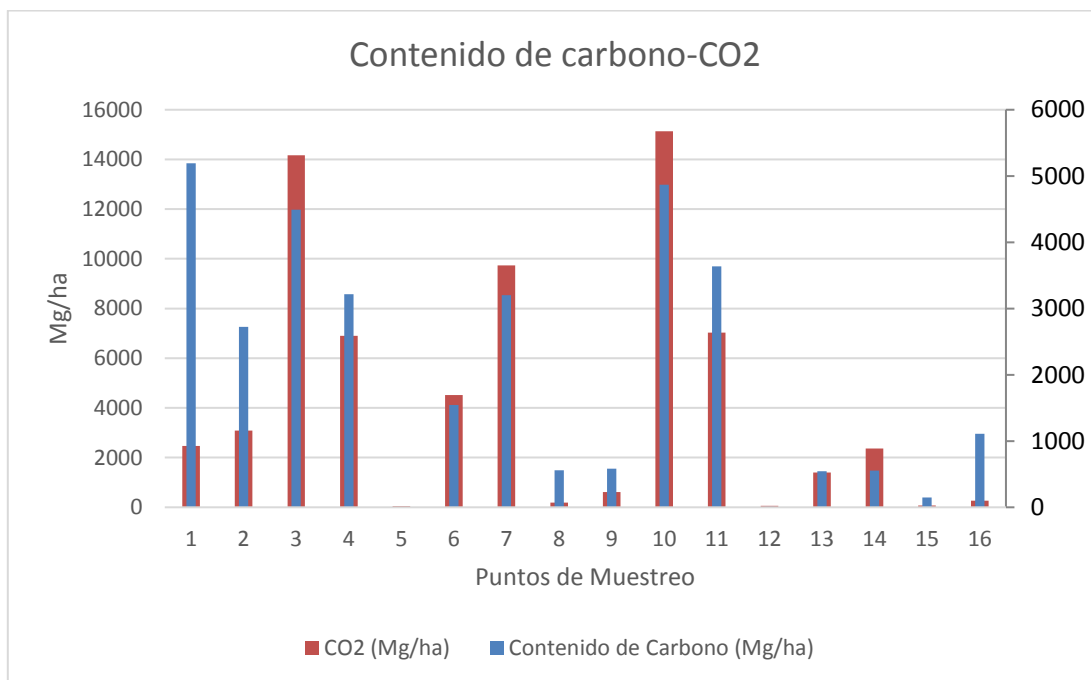


Figura 23. Relación Contenido de Carbono-Bióxido de carbono por rodal en el parque estatal “El Faro”, Tlalmanalco, México, México



Efectuando un análisis en donde incorporamos la biomasa, contenido de carbono y el bióxido de carbono (Brown, 1989), y lo relacionamos con la calidad de sitio, observamos que de acuerdo con la metodología presentada por Brown, la captura de carbono es mayor en los sitios con la Calidad de sitio mayor, tal y como se muestra en la figura 24:

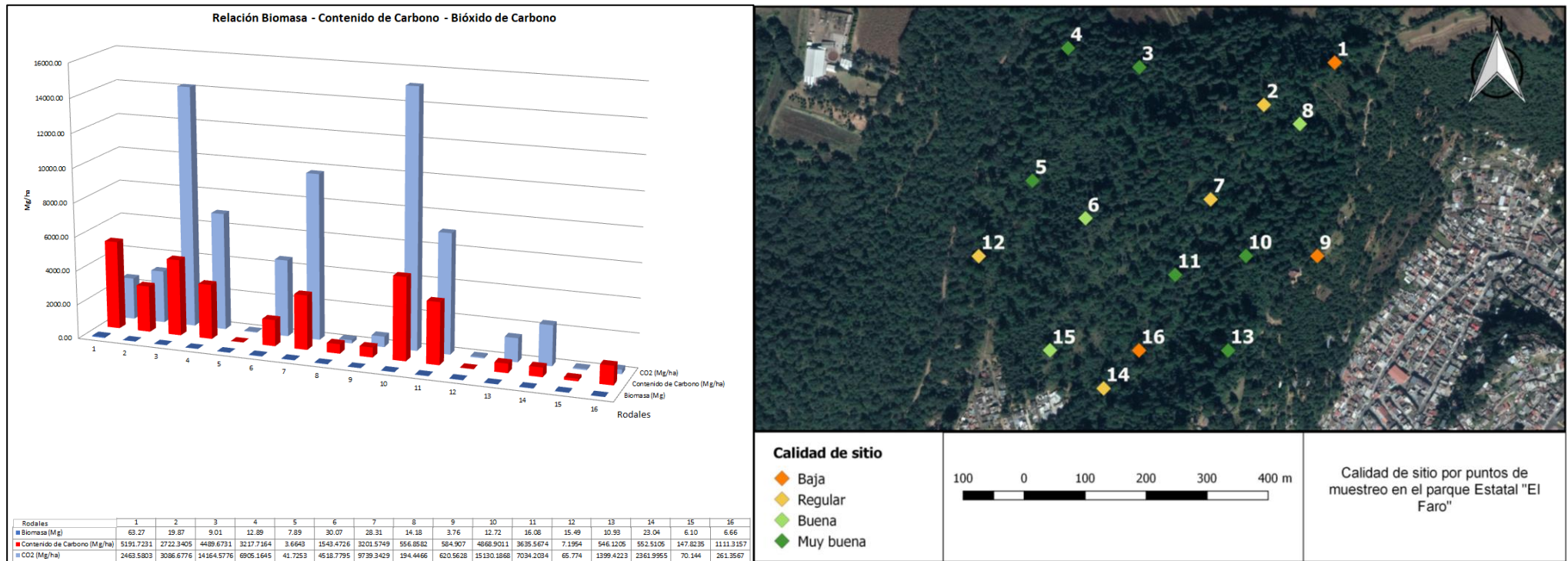


Figura 24. Relación de variables con la calidad de sitio en el parque estatal "El Faro", Tlamanalco, México, México



Efectuando un análisis de varianza para el Índice de sitio obtenemos:

Tabla 10. Análisis de varianza para Índice de Sitio, en el parque estatal “El Faro”, Tlalmanalco, México, México

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	29007526.1	15	1933835.07	9.69474916	4.882E-18	1.705757 31
Dentro de los grupos	50865467.1	255	199472.42			
Total	79872993.2	270				

Obtenemos un valor de $F=9.694749$ y una F crítica de 1.705757, lo que nos indica que para un $\alpha=0.05$ las diferencias entre sitios son significativas, considerando entonces que la variación en la localización, exposición y número y tipo de especie están influyendo en la captura de carbono.

Para diferenciar la captura de carbono de realizaron análisis de varianza para contenido de carbono y contenido de carbono de acuerdo con Brown, obteniendo que para ambos casos con un $\alpha=0.05$ las diferencias entre especies son significativas.

Tabla 11. Análisis de varianza para contenido carbono (Brown, 1989)

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	35269765.2	5	7053953.04	40.2251162	3.3457E-30	2.250427 31
Dentro de los grupos	43489752.6	248	175361.906			
Total	78759517.8	253				

Considerando que las especies estudiadas presentan diferentes contenidos de carbono y que a su vez los sitios de acuerdo con sus características también presentan diferencias significativas entre sí, se procedió a determinar la



diversidad de los sitios utilizando los Índices de Margalef, de Simpson y de Shannon-Weiner.

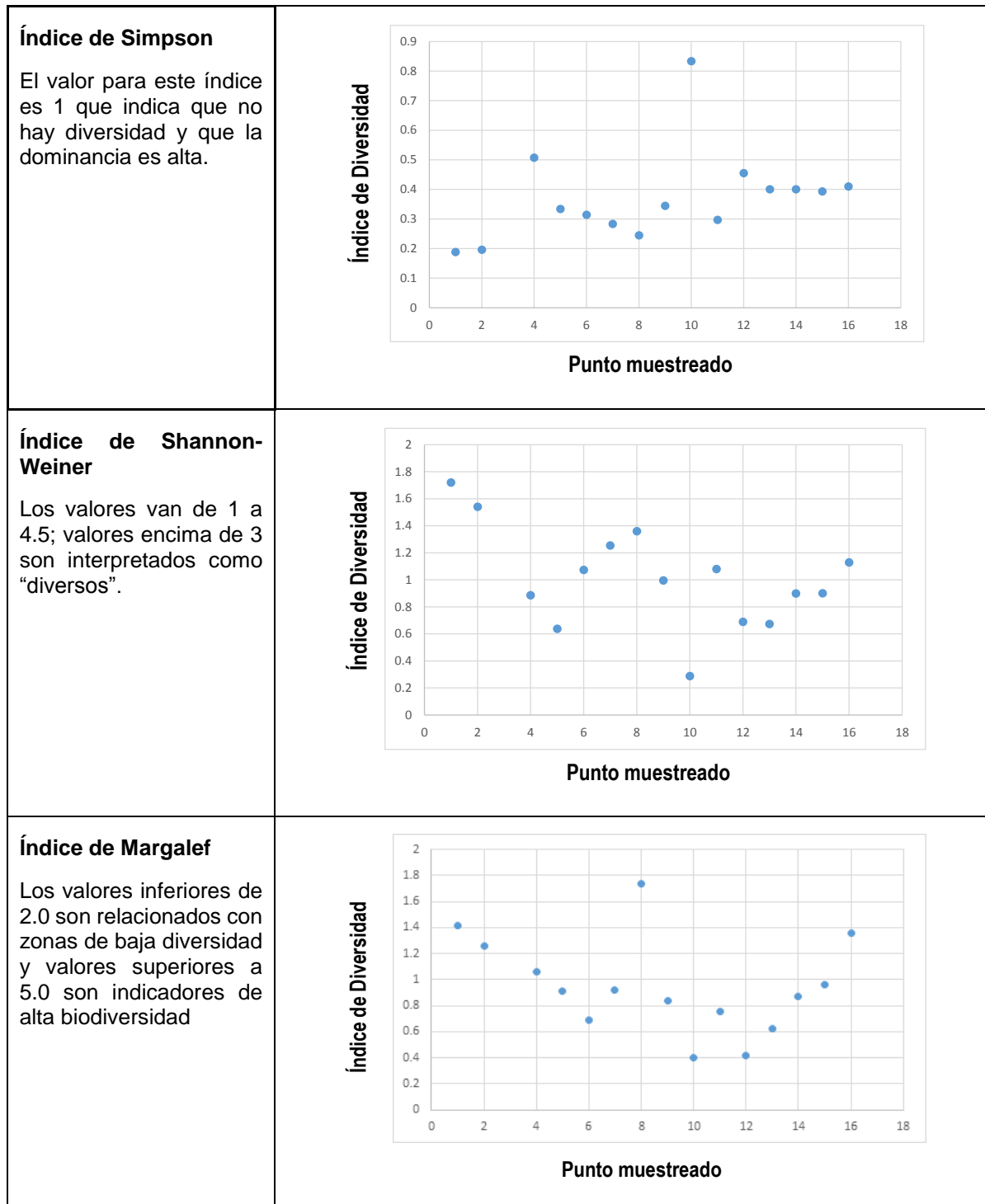


Figura 25. Índices de diversidad resultantes en el parque estatal "El Faro",

Tlalmanalco, México, México



Las especies consideradas para el cálculo de la biodiversidad son únicamente las coníferas, pudiendo encontrar en los sitios especies de árboles, así como arbustos y herbáceas. Con lo que respecta al estrato arbóreo de coníferas, de acuerdo con Simpson la mayoría de los sitios presenta una diversidad media, a excepción de los puntos 3 y 10 que muestran una diversidad muy baja (Fig. 24).

Con respecto a Shannon-Weiner se tiene que todos los sitios muestran una baja diversidad, lo que coincide con Margalef (Fig. 25).

Los sitios que muestran la captura mayor de carbono son los sitios 3, 4, 5, 10, 11 y 13, que presentan una baja diversidad, pero con una mayor abundancia de *Cupressus lusitanica* Mill., *Pinus ayacahuite* Ehren y *Pinus pseudostrobus* Lindl., la presencia de estas dos especies obedece a causas diferentes, en el caso de *Cupressus lusitanica* Mill. es una especie que esta protegida por la NOM-059-SEMARNAT-2010, por lo que no esta permitido cortarla, teniendo individuos de gran tamaño, por lo que respecta a las dos especies de pino, estas han sido resistentes a las plagas de descortezadores que se han presentado en la zona, por lo que han podido alcanzar tambien grandes tamaños, lo que obviamente coincide con mayores áreas basales.

Encontramos que el diametro medio en las especies muestreadas en todos los sitios es de 43.39 cm y en los sitios con la mayor captura de carbono es mucho mayor con 56.7 cm, coincidiendo con que la edad promedio es de 40 años para las especies muestradas y de 53 para las zonas con mayor captura de carbono.



8. Discusión

Rodalización e inventario

Las especies encontradas fueron registradas por Martínez (1948), para el Valle de México, en donde se menciona que *Pinus leiophylla* Schl. & Cham. , *P. montezumae*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote*, estas especies se encuentran sólo de forma silvestre. Mientras que *Pinus ayacahuite* Ehren, *P. patula*, *Cupressus lusitanica* Mill. son especies que pueden ser cultivadas.

C. lusitanica ha utilizado en los programas de reforestación y se ha promovido su uso en programas locales y regionales, ya que esta especie es de rápido crecimiento, además de que es maderable (CONABIO, 2007a; Fernández-Pérez *et al.*, 2013).

Pinus ayacahuite Ehren, presenta los mayores diámetros, esto concuerda con la descripción de la ficha técnica de la especie, en donde se menciona que puede llegar a tener 2 m de Diámetro a la Altura del Pecho, es una especie que es utilizada para reforestación en zonas urbanas y suburbanas (CONABIO, 2007b), además, en México es una de las especies más populares utilizada como árbol de navidad (Espinosa-Uranga, 2006).

Pinus montezumae Lamb., ha sido utilizado con éxito en varios programas de reforestación para la protección de cuencas hidrográficas y restauración de suelos degradados, además es una especie maderable de gran importancia económica (CONABIO, 2007d).



Pinus patula Schl. et Cham, se ha utilizado con éxito en varios programas de reforestación para la protección de cuencas hidrográficas y restauración de suelos degradados, además de ser una especie maderable de gran importancia económica (CONABIO, 2007e); esta es una especie introducida en la zona.

Pinus pseudostrobus Lindl., puede ser utilizado para la restauración de suelos degradados (CONABIO, 2007f).

Pinus teocote Schiede ex Schltdl, no presenta características específicas para su crecimiento, la madera se emplea en la construcción (CONABIO, 2007g).

Los diámetros, así como la altura son de los principales datos para hacer los cálculos de biomasa, carbono y bióxido de carbón (Díaz-Franco *et al.*, 2007; Silva-Arredondo y Navar- Cháidez, 2009; FAO, 2013; Carrillo-Azurez *et al.*, 2014; Miguel-Martínez *et al.*, 2016).

Calidad de sitio

El índice de sitio es una medida indirecta, en donde se relaciona con la edad y con la altura, esta medida es la más práctica, consistente y útil como indicador de la calidad de sitio (Quiñones–Chávez, A. y H. Ramírez–Maldonado, 1998).

El cálculo del índice de productividad representa la capacidad productiva de las diferentes zonas de las masas forestales es una de las bases silvícolas indispensables para orientar los aprovechamientos forestales hacia un manejo sustentable de los recursos , además de que contribuye a cesar el deterioro de los macizos forestales causado por la sobreexplotación y de que justifica técnicamente los tratamientos propuestos en la planeación de los



aprovechamientos maderables (Torres y Magaña, 2001; Hernández–Ramos *et al.*, 2015).

La calidad del sitio se puede determinar en términos de la máxima cantidad de madera en un cierto periodo y para especies determinadas (Bojorges, 1990). La evaluación de la calidad de sitio es una tarea de importancia para manejar los recursos forestales, además de que determinan en mayor proporción el rendimiento que el bosque tendrá a cierta edad, considerando que la especie y su calidad genética sean constantes (Quiñones–Chávez y Ramírez–Maldonado, 1998).

Biomasa

La biomasa obtenida, está dentro de los rangos proporcionados por algunos autores, así tenemos que para *Pinus montezumae* Lamb. Lamb. 0.229 t/ha esta dentro de los resultados presentados por Carrillo–Anzúres *et al.*, (2014); para *Pinus patula* Schl. et Cham los resultados obtenidos (1.57, 0.04, 0.21 t/ha) están en el rango presentado por Díaz-Franco *et al.*, (2007) y Rodríguez-Larramendi *et al.*, (2016); *Pinus pseudostrobus* Lindl., los valores obtenidos, con 33.78, 7.18 t/ha y 21.74 t/ha, estos puntos se aproximan al rango presentado por Méndez-González *et al.*, (2011) y por Vásquez-Fabian *et al.*, (2017).

De Jong *et al.*, (1999), reporto para bosques oyamel y cedro, valores de biomasa de 145.7 Mg C /ha; Galeana *et al.*, (2013) reporta 163 Mg C/ha en un bosque cerrado.

Existe una relación entre el área basal, el número de árboles muestreados y la biomasa (Fig. 19). Tal y como lo describen, Chacón-León y Harvey (2013),



demonstró que a mayor cantidad de árboles (árboles/ha) y a mayor área basal (m^2/ha), mayor será la biomasa arriba del suelo (Mg/ha). Se demostró que existe una relación estrecha entre la biomasa de los árboles y el área basal.

El valor obtenido en la biomasa afecta directamente en los resultados obtenidos en la captura de carbono, este valor varía en función de la mezcla de especies (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2009).

Cantidad de carbono

La cantidad de carbono, concuerda con lo reportado por Flores–Ramírez *et al.*, (2012), para *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*. A pesar de ello se observa que los resultados obtenidos de carbono Mg/ha salen fuera del rango reportado por Navar (2009), para bosques templados de Durango con resultados de 19.6 a 67.16 $\text{Mg C}/\text{ha}$. Navar–Cháidez (2009) en selva baja caducifolia en Sinaloa, México.

Bióxido de carbono

Se obtuvieron valores de entre 41 y 15,000 Mg/ha o ton/ha de CO_2 (Fig. 23), se reporta que para producir 446 g de madera, deberá tomar 650 g de CO_2 y liberará a la atmósfera 477 g de oxígeno, por lo cual tenemos que por un m^3 de crecimiento en biomasa forestal (tronco, raíces, ramas, hojas) absorbe 0.26 toneladas de carbono equivalente (tC) (Sedjő *et al.*, 1995; IUFRO Finlandia, 1995; Norverto, 2003). La captura de CO_2 varía de acuerdo a la cantidad de biomasa, del contenido de carbono (Fig. 20) y a su vez del DAP y edad de la especie (Domínguez–Madrid, 2016).



Así observamos, que dependiendo de la combinación de especies de coníferas en cada punto de muestreo, es la cantidad de biomasa, carbono y de dióxido de carbono capturado por sitio.



Capítulo V

9. Conclusiones

- ◆ El Parque Estatal “El Faro”, Tlalmanalco, México, México, presenta una captura de carbono alta.
- ◆ Se obtuvo una captura de carbono que está entre 41.73 Mg/ha y 15130.18 Mg/ha
- ◆ Se calculó el contenido de carbono mediante metodologías propuestas para cada especie, y por diferentes autores, siendo la que permitió obtener los resultados más evidentes, la propuesta por Brown en 1986. Se tiene la presencia de siete especies de coníferas, *Cupressus lusitanica* Mill., *Pinus ayacahuite* Ehren, *P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. teocote* y *P. pseudostrobus*, siendo *Pinus patula* Schl. et Cham y *P. montezumae*, especies introducidas en reforestaciones.
- ◆ *Cupressus lusitanica* Mill. es la especie más abundante en el muestreo y es una especie con estatus de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010.
- ◆ La calidad de sitio en la zona de estudio va de buena a muy buena, en el 62.5% de los sitios; correspondiendo las calidades medias a baja en las zonas con problemas de tránsito de personas y con la presencia de plagas y enfermedades, en el 37.5%.
- ◆ Los sitios con mayor captura de carbono son aquellos que presentan la mayor calidad de sitio, que se encuentran en la zona más distante del efecto antropogénico. Se tienen diferencias significativas en la captura de



carbono, entre las calidades de sitio de las zonas estudiadas, por lo que se puede considerar un buen indicador para la determinación de carbono.

- ◆ El rodal 1 es el que presentó la mayor cantidad de biomasa (63.2692 Mg/ha), en este rodal fue en donde se muestrearon más individuos, en comparación con el rodal 5 que presenta menor cantidad de biomasa (7.8904 Mg/ha), en donde solo se muestrearon tres individuos.
- ◆ Se encontraron diferencias significativas en la captura de carbono entre las especies estudiadas, siendo *Cupressus lusitanica Mill.* la especie con mayor captura, seguido por *Pinus pseudostrobus Lindl.* y *Pinus ayacahuite Ehren,*
- ◆ Las características de los sitios como son las especies presentes, el diámetro y la edad, son las que intervienen directamente en la cantidad de biomasa que se ve reflejada en la captura de carbono.
- ◆ Cada uno de los sitios con una baja diversidad, presenta una dominancia de *Cupressus lusitanica Mill.*, así como especies resistentes a plagas y enfermedades y presentan la mayor captura de carbono.

Las zonas de protección como lo es el Parque Estatal “El Faro” son lugares de que presentan un gran valor biológico, geográfico, ecológico, económico, social, ético, estético, turístico, educacional, entre otros, por ello debemos hacer esfuerzos para manejar, conservar y proteger de manera adecuada en estas áreas. Para llevar esto a cabo, se requieren realizar estudios que nos demuestren el valor desde diferentes aspectos de las áreas protegidas.



10. Recomendaciones

- ✓ La evaluación de la calidad de sitio permite rodalizar la zona para tener un manejo adecuado del bosque.
- ✓ De acuerdo con los datos obtenidos las especies que son más eficientes en la captura de carbono son *Cupressus lusitanica* Mill., *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus ayacahuite* Ehren, por lo que se recomienda realizar las reforestaciones futuras con estas especies, siempre y cuando se tomen en cuenta las especies nativas de la región
- ✓ Se requiere una evaluación para el sitio estudiado la captura de carbono para las especies latifoliadas que ahí se encuentran.
- ✓ Para tener datos sobre la captura de carbono anual de los sitios, se recomienda efectuar un estudio de crecimiento de los rodales.
- ✓ Se requiere efectuar el estudio dasonómico, para conocer el comportamiento de la masa forestal.
- ✓ Se requiere una actualización del plan de manejo del Parque Estatal “El Faro”.
- ✓ También es necesario la actualización de los inventarios de flora y fauna.
- ✓ Mejorar el programa de vigilancia del parque.
- ✓ Conociendo la captura de carbono por especie y por calidad de sitio, es posible proponer programas pago por servicios ambientales, principalmente para captura de bióxido de carbono



11. Bibliografía

- Abiad, C., M. P. Aldana, D, Del Río, P. Echeverri y N. Pérez. (2012). *La Revolución Industrial. Colegio Británico de Cartagena*. Undécimo (B). Cartagena de Indias, Colombia. Recuperado de http://www.colbritanico.edu.co/CBCStudents/Proyectos%20de%20metodologia/Humanidades_La%20Revolucion%20Industrial_.pdf
- Alanis-Ortega, G. A. (2013). *Derecho a un ambiente sano. Instituto de Investigaciones Jurídicas*. Suprema Corte de Justicia de la Nación. 631-638 pp.
- Apps, M. J. (2004). *Bosques, el ciclo mundial del carbono y el cambio climático*. Servicio Forestal del Canadá, Canadá
- Apps, M.J., W.A. Kurz, R.J. Luxmoore, L.O. Nilsson, R.A. Sedjo, R. Schmidt, L.G. Simpson y T.S. Vinson. (1993). *Boreal Forests and Tundra*. In: Wisniewski, J. y R.N. Sampson (Eds). *Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification and Sources of CO₂*. Kluwer Academic Publishers. Holanda. P. 39-53
- Arámbula-Reyes, A. (2007). *Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP)*. Servicios de Investigación y Análisis. Subdirección de Política Exterior. Cámara de Diputados LX Legislatura. Recuperado de <http://www.diputados.gob.mx/sedia/sia/spe/SPE-CI-A-24-07.pdf>
- Arriaga, L., J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez y L. Gómez. (2000). *Regiones Terrestres Prioritarias de México*. CONABIO. México



- Arriola-Padilla, V. J., *et al.* (2015). *Áreas Naturales Protegidas del Centro de México: degradación y recomendaciones*. Pp. 337-374. En: Ortega-Rubio, A., M. Pinkus-Rendón y I. Espitia-Moreno (eds.). *Las Áreas Naturales Protegidas y la Investigación científica en México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste de S.C., La Paz B. C., Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. 572 pp.
- Atlas Municipal de Recursos Naturales de Tlalmanalco de Velázquez. (2000). *Atlas Municipal de Recursos Naturales, Programa de Manejo de Recursos Naturales de la Sierra Nevada*. UAM. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. SEMARNAP. Secretaría de Ecología. Sub-Secretaría de Desarrollo Regional, SEDESOL.
- Ayala, S.R. (1998). *“Ecuaciones para estimar biomasa de pinos y encinos en la meseta central de Chiapas”*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Baev, P.V. y L.D. Penev. 1995. BIODIV: program for calculating biological diversity parameters, similarity, niche overlap, and cluster analysis. Version 5.1. Pensoft, Sofia-Moscow, 57pp.
- Banco Mundial. (2014). Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.GF.KT?view=chart>
- Benavides–Ballesteros, H. O. y G. E. León–Aristizabal. (2007). *Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático*. IDEAM-METEO. 008. Pp. 99.



- Benito, G. (Abril, 2008). *Cambios climáticos en el Pleistoceno, Holoceno*. En: Simposio “Evaluación crítica de las previsiones sobre el cambio climático: Una perspectiva científica”. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Fundación Ramón Areces.
- Binkley, D. (2004). *A hypothesis about the interaction of tree dominance and stand production through stand development*. *Forest Ecology and Management*. 190: 265-271.
- Bolaños–González, Y., M. A. Bolaños–González, F. Paz–Pellat y J. I. Ponce–Pulido. (2017). *Estimación de carbono almacenado en bosques de oyamel y ciprés en Texcoco, Estado de México*. *Terra Latinoamericana*. 35: 73--86
- Bolin, B., B. R. Döös, J. Jager & R. A. Warrick. (1986). *The greenhouse effect, climate change and ecosystems*. Ed. John Wiley & Sons.
- Breure, A.M., Groot, M., Eijsackers, H.J.P., (2008). System-oriented ecotoxicological research: which way to go? *Sci. Total Environ*. 406, 530–536.
- Brown S., A. J. R. Gillespie and A. E. Lugo. (1989). *Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data*. *Forest Science* 35(4):881.902.
- Brown, S. (1997). *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest: a Primer*. FAO Forestry Paper 134. Rome, Italy. 55 p.
- Brown, S. Et al. (1986). *Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget*. *Canadian Journal of Forestry Research* 16:390-394.



- Brown, S. y A. Lugo. (1992). *Above ground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon*. Revista Interciencia No. 17.
- Brown, S., Sathaye, J., Cannel, M. y Kauppi. P.E. (1996). *Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management*. *Commonwealth Forestry Review* 75.
- Caballero, M., S. Lozano y B. Ortega. (2007). *Efecto Invernadero, Calentamiento Global y Cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la Tierra*. Revista Digital Universitaria. 10(8): 1-12
- Caride-Gómez, J. A. (1991). *Educación Ambiental: Realidad y perspectivas*. Ed. Torculo. Chile.
- Carlson, P.S. (1990). *Biología de la productividad de cultivos*. AGT Editor, S.A., México. 413 p.
- Carmona-Lara, M. C. (2012). *Río+20: Reflexiones en torno a la institucionalización y gestión de la procuración de justicia ambiental en México*. Instituto de Investigaciones Jurídicas. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Pp. 25-48.
- Carpenter, R. Steve. (1990). "Special Feature: Statistical Analysis of Ecological Response to Large-Scale Perturbations, editorial". In: *Ecology* 71 (6): 2037.
- Carrillo-Anzúres, F., M. Acosta-Mireles, E. Flores-Ayala, J. E. Juárez-Bravo y E. Bonilla-Padilla. (2014). *Estimación de biomasa y carbono en dos especies arbóreas en La Sierra Nevada, México*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 5(5): 779--793



- Caspersen, J. P. et al. (2000). Contributions of Land-Use History to Carbon Accumulation in U.S. Forests. *Science* 290: 1148-1151.
- Cayuela L. e I. Granzow-de la Cerda. (2012). Biodiversidad y conservación de bosques neotropicales. *Ecosistemas* 21(1-2):1-5.
- CCMSS. 2013. <http://www.ccmss.org.mx/documentacion/920-estrategia-nacional-de-manejo-forestal-sustentable-para-el-incremento-de-la-produccion-y-productividad-2013-2018-enaipros/>
- Ceballos, G. y Galindo, C. (1984). *Mamíferos silvestres de la cuenca de México*. INE-Limusa. México. 299 pp.
- Chacón-León, M. y C. A. Harvey. (2013). *Reservas de biomasa de árboles dispersos en potreros y mitigación al cambio climático*. *Agronomía Mesoamericana*. 24(1): 17--26
- Challenger, A. 1998. Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México. México, D. F. CONABIO. 847 pp.
- Chaturveni, A. (1994). *Sequestration of atmospheric carbon in India's forest*. *Ambio*. 23: 461.
- Chávez, C. J. M. y N. Trigo B. (1996). *Programa de Manejo para el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl*. Colección Ecología y Planeación. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 299 p.
- Chimal-Hernández, A. (2013). *La Flora vascular del Parque Estatal El Faro*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Ciesla, W. M. (1996). *Cambio Climático, bosques y ordenación forestal*. Una visión de conjunto. Roma, IT, FAO. 147 p.



- Colomo-Ugarte, J. (2008). *Emisiones de CO₂ y emisiones de CO₂ per capita*.
- Comisión Europea (CE). (2009). *Bienes y servicios ecosistémicos*. Medio Ambiente.
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo. (1988). *Nuestro Futuro común*. Alianza Editorial. Madrid.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2017). *Áreas Protegidas Decretadas*. Consultado en mayo de 2017 en: <http://www.conanp.gob.mx>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2010). *Inventario Nacional Forestal y de Suelos*. Manual y procedimientos para el muestreo de campo. México
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2011). *Historia de las Áreas Naturales Protegidas en México*. Dirección de Comunicación y Cultura para la Conservación. México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2013). *Bosques, cambio climático y REDD+ en México*. Guía básica. CONAFOR. 2° ed. 87 pp.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2014). *Programas Específicos de Intervención Institucional*. Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el incremento de Producción y Productividad 2013-2018. ENAIPROS
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2016). *Guía ilustrada para participar en el programa de pago por Servicios Ambientales*. La



naturaleza nos une para trabajar por México. 1ª edición. Gerencia de Servicios Ambientales.

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2017). <http://www.conanp.gob.mx/regionales/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2000). *Estrategia nacional sobre biodiversidad de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2007a). SIRE-CONABIO. *Cupressus lusitanica Mill. Mill.* Paquetes Tecnológicos. México. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/911Cupressus%20lusitanica.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2007b). SIRE-CONABIO. *Pinus ayacahuite Ehren.* Paquetes Tecnológicos. México. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/953Pinus%20ayacahuite.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2007c). SIRE-CONABIO. *Pinus leiophylla Schl. & Cham. Schl. & Cham.* Paquetes tecnológicos. México. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/967Pinus%20leiophylla.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2007d). SIRE-CONABIO. *Pinus montezumae Lamb. Lamb. Lamb.*



- Paquetes tecnológicos. México. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/971Pinus%20montezumae.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2007e). SIRE-CONABIO. *Pinus patula Schl. et Cham Schl. et Cham*. Paquetes tecnológicos. México. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/975Pinus%20patula.pdf>
 - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2007f). SIRE-CONABIO. *Pinus pseudostrobus Lindl. Lindl. var pseudostrobus*. Paquetes tecnológicos. México. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/981Pinus%20pseudostrobus.pdf>
 - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2007g). SIRE-CONABIO. *Pinus teocote Schiede ex Schltdl Schiede ex Schltdl*. Paquetes tecnológicos. México. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/983Pinus%20teocote.pdf>
 - Constanza, R., R., dArge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. Oneill, J. Paruejo, R. G. Raskin, P. Sutton, M. van den Belt. (1997). *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. Nature 387: 253--260
 - Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el 13 de junio de 1992



- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21). (2015). Acuerdos de París.
- Cook A. G., Janetos A. C. y W. T. Hinds. (1990). *Global effects of tropical deforestation: towards an integrated perspective*. Environmental Conservation 17: 201-212.
- Currie, W. S. (2011). *Units of nature or processes across scales? The ecosystem concept at age 75*. Tansley reviews. New Phytologist. 190: 21-34
- Daniel, T.; Helms, J.; Baker, F. (1982). Principios de silvicultura.. México, McGraw-Hill. 492 p.
- Daniel, W. T., J. A. Helms y F. S. Baker. (1982). *Principios de Silvicultura*. Mac. Graw-Hill. México. 492 p.
- Darvishsefat, A.A., Fatehi, P., Khalil P.A., & Farzanehb, A. (2004). Comparison of SPOT-5 and Landsat-7 for forest area mapping. XX th ISPRS Congress Proceedings. Istanbul, Turkey. Commission, 7, 423-426.
- Dawson, B. & M. Spannagle. (2009). The Complete Guide to Climate Change. Routledge. P. 436
- de Groot, R., L. Brander, S. van der Ploeg, R. Constanza, F. Bernard, L. Braat, M. Christie, N. Crossman, A. Ghermandi, L. Hein, S. Hussain, P. Kumar, A. McVittie, R. Portela, L. C. Rodríguez, P. ten Brink, P. van Beukering. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services monetary units. Ecosyst. Serv. 1: 50-61



- de Groot, S., Rudolf, M. A. Wilson y R. M. J. Boumans. (2002). “A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services”. In: *Ecological Economics* 41: 393-408
- De Jong, B., M. Cairns, P. Haggerty, N. Ramírez, S. Ochoa, J. Mendoza, M. González y I. March. (1999). *Land-use change and carbón flux between 1970s and 1990s in Central Highlands of Chiapas, México*. *Environ. Manage.* 23:373—385
- Della Sala, Geos Institute. 2018. *The Carbon Cycle and Global Change: Too Much of a Good Thing*. Elsevier Inc. Ashland, Oregon, United States
- Diario Oficial de la Federación. (2010). NOM-059-SEMARNAT-2010. Recuperado de http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf
- Diario Oficial de la Federación. (2012). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Recuperado de <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/protocolo/LGEEPA.pdf>
- Diario Oficial de la Federación. (2013). *Acuerdo por el que se expide la Estrategia Nacional de Cambio Climático*. DOF: 03/06/2013
- Diario Oficial de la Federación. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5299465
- Diario Oficial de la Federación. (2015). *Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. Recuperado de



<http://despliegueinfra.ift.org.mx/normatividad/SEMARNAT/Ley-General-de-Desarrollo-Forestal-Sustentable.pdf>

- Diario Oficial de la Federación. (2018). Ley General de Cambio Climático. Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_190118.pdf
- Díaz–Franco, R., M. Acosta-Mireles, F. Carrillo-Anzures, E. Buendía-Rodríguez, E. Flores-Ayala y J. D. Etchevers-Barra. (2007). *Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en Pinus patula Schl. et Cham Schl et Cham*. Madera y Bosques. 1(13): 25--34
- Dirzo, R. y P. Raven. (2003). *Global state of biodiversity and loss*. Annual Review of the Environment and Resources 28: 137-167
- Domínguez-Madrid, A. Y. (2012). *Estimación de captura de los parques y emisiones de CO2 vehicular en Tijuana, B. C.* Tesis. El colegio de la Frontera. Tijuana, México.
- Duran, R.; Ramos, L. (2010). *Papel de las áreas naturales protegidas en la conservación de la biodiversidad*. CONABIO, SEDUMA; 469 p.; México.
- Erickson J. (1994). *El efecto invernadero, el desastre del mañana, hoy*. Serie Mcgraw- hill de divulgación científica. P 1-2
- Eschenhagen, M. L. (2006). *Las cumbres ambientales internacionales y la educación ambiental*. OASIS. Centro de Investigaciones y Proyectos Especiales. Universidad Externado de Colombia. Bogotá. P. 39-76



- Espinosa-Uranga, M. A. (2006). *Evaluación del crecimiento de tres especies de árboles de navidad y análisis de sus costos de producción*. Tesis de Licenciatura. Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México
- Ezcurra, E., A. Valiente-Banuet, O. Flores-Vilela & E. Vázquez-Domínguez. (2001). *Vulnerability to global environmental change in natural systems and rural Areas: A question of latitude?* Pp. 217-246. In: J. X. Kasperson, R. e, Kasperson (eds.). *Global environmental risk*. United Nations University. Tokyo.
- FAO. (2017). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020*. Documento de trabajo No. 189.
- Farber, S.C., R. Constanza, M. A. Wilson. (2002). *Economic and ecological concepts for valuing ecosystems services*. *Ecol. Econ.* 41:375-392
- Fernández-Pérez, L. N. Ramírez-Marcial y M. González-Espinosa. (2013). *Reforestación del bosque de Pino-Encino en los Altos de Chiapas, México*. *Botanical Sciences*. 91(2): 207--2016
- Field C. B. & M. R. Raupach (eds). (2004). *The Global Carbon Cycle Integrating Humans, Climate and the Natural World*. Island Press, Washington.
- Fisher, R.A., A.S. Corbet, y C.B. Williams. (1943). *The relation between the number of species and the number of individuals in a random simple of an animal population*. *Journal of Animal Ecology* 12: 42-58.
- Flores-Ramírez, N. F., L. C. Mendizábal-Hernández, J. Alba-Landan. (2012). *Potencial de captura y almacenamiento de CO₂ en el Valle de*



- Perote. Estudio de caso: Pinus cembroides subsp. Orizabensis D. K. Bailey.* Foresta Veracruzana 1(14):17-22
- Flores-Villela, O. y P. Gerez. (1994). *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo.* Universidad Nacional Autónoma de México, México. D. F. 514 p.
 - Fondo Mundial para la Naturaleza. (1961). Recuperado de http://www.wwfca.org/wwf_guatemala/historia/
 - Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1998). *Word Reference Base for Soil Resource.* Rome
 - Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1993). *Forest resources assessment 1990 tropical countries.* FAO Forestry Paper 112. FAO, Rome. pp.59.
 - Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2006). *La FAO, los bosques y el cambio climático.*
 - Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2001). *State of the world's forest.*
 - Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2007). *Situación de los bosques del mundo.* FAO. Roma
 - Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2013). *GlobAllomeTree-Assessing volume, biomass and carbon stocks of trees and forest.* <http://www.globalloometree>
 - Franco-Lopez, H., Ek, A. R., Bauer, M. E. (2001). *Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbors method.* Remote Sensing of Environment. 77:251-274.



- FWPRDC, (1996). Evaluation of Santiago declaration, indicators of sustainability for australian comercial Forests. Tech. Pub. No. 2. 59 pags
- Gaceta del Gobierno. (2003). *Periódico Oficial del Gobierno del Estado de México*.
- Galeana, J. M., J. A. B. Ordóñez y N. Corona. (2013). *Estimación de contenido de carbono en la cuenca del río Magdalena, México*. Madera Bosques. 19:53-69
- García, A., M. Laurín, M. J. Llosa, V. González, M. J. Sanz y J. L. Pocuna. (2007). *Contribución de la agricultura ecológica a la mitigación del cambio climático en comparación con la agricultura convencional*. Agroecología. 1:75-88
- García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Aguilar, A., V. A. Velasco-Velasco, G. Rodríguez-Ortiz y J. R. Enríquez-de Valle. (2017). *Influencia de la calidad de sitio sobre el crecimiento de una plantación de Pinus patula Schl. et Cham Schltl. et Cham*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 8(44) Recuperado de <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/download/108/190/>
- García-Arbeláez, C., G. Vallejo, M. L. Higgins y E. M. Escobar. (2016). *El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático*. 1 ed. WWF-Colombia. Cali, Colombia. 52 pp.



- Gasparri, I. y E. Manghi. (2004). *Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de las regiones forestales argentinas*. Dirección de Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal. Argentina.
- Gay, C. & J. Martínez. (1995). *Mitigation of emissions of greenhouse gases in Mexico*. *Interciencia*. 20(6): 336-342
- Gayoso, J. y J. Guerra. (2005). *Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile*. *Bosque* 26(2):33-38.
- Geneletti D. (2004). *Using spatial indicators and value functions to assess ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5: 1 -15.
- German Advisory Council on Global Change (WBGU). (1998). *World in Transition: Strategies for Managing Global Environmental Risks*. Annual Report. Berlin, Germany. Recuperado de https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu.de/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg1998/wbgu_jg1998_engl.pdf
- German Advisory Council on Global Change (WBGU). (2014). *Climate Protection as a World Citizen Movement*. Berlin, Germany. Recuperado de https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu.de/templates/dateien/veroeffentlichungen/sondergutachten/sn2014/wbgu_sg2014_en.pdf
- Gobierno del estado de México. (2014). *Áreas Naturales Protegidas del estado de México*. Recuperado de https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/sistema_nacional/documentos/ANPL/Mex/SUPERFICIE_PARQUES_JUNIO_2014.pdf



- Gómez, I. A. y G. C. Gallopìn. (1991). Estimación de la productividad primaria neta de ecosistemas terrestres del mundo en relación a factores ambientales. *Ecología Austral*: 1:24-40
- Gómez-Pompa, A., C. Vázquez-Yañes, S. Guevara. (1972). *The tropical rain forest a non-renewable resource*. *Science*. 177:762-765
- González, M. F. (2003). *Las Comunidades Vegetales de México*. SEMARNAT. México, D.F. 77 pp.
- González, Z. M. (2008). Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *Ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. En el norte del estado de Chiapas, México. Tesis de Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Naturales y Biodiversidad. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- González-Medrano, F. (2003). *Las comunidades vegetales de México*.
- González-Ocampo, H., G. Rodríguez-Quiroz y A. Ortega-Rubio. (2015). *Una revisión panorámica de las Áreas Naturales Protegidas de México*. 19-40 pp. En: Ortega-Rubio, A., M. Pinkus-Rendón y I. Espitia-Moreno (eds.). *Las Áreas Naturales Protegidas y la Investigación científica en México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste de S.C., La Paz B. C., Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. 572 pp.
- Goodfellow, M. & J. Slater. (1992). *Biodiversity as a source of innovation in biotechnology*. *Annual Review Microbiology*. Vol. 46. 219-252 p.



- Gracia, C., J. Vayreda, S. Sabaté & J. Ibáñez. (2004). *Main components of the aboveground biomass expansion factors*. Centre de Recerca Ecológica i Aplicacions Forestals. Universidad de Barcelona. España.
- Granados J. y C. Corner. (2006). *Respuesta de las selvas tropicales al incremento de CO₂ en la atmósfera*. Revista Forestal Iberoamericana. 1(1):63-70
- Gray, A.N., Whittier, T.R., 2014. Carbon stocks and changes on Pacific northwest national forests and the role of disturbance, management, and growth. *For. Ecol. Manag.* 328:167–178.
- Grijpma, P. (1998). *Producción forestal*. 2°. Ed. Sep-Trillas. México. 134 pp.
- Groot, S., Rudolf, M. A. Wilson y R. M. J. Boumans. “A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services”. En: *Ecological Economics* 41: 393-408. 2002
- Guy R Larocque, G. R. 2018. *Forest Models*. Canadian Forest Service, Quebec, QC, Canada. Elsevier Inc.
- Halffter, G. (2011). Reservas de la biosfera: Problemas y oportunidades en México. *Acta Zoológica Mexicana* (ns), 27(1): 177-189
- Hall, R.J., Skakun, R.S., Arsenault, E.J. and Case, B.S. (2006). *Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data, Application to mapping of aboveground biomass and stand volume*. *Forest Ecology and Management*, 225(1-3), 378-390.



- Hartwell, R. M. (2003). *La revolución industrial en Inglaterra y sus consecuencias para los pobres*. Recuperado de: http://www.eseade.edu.ar/files/Libertas/40_3_Hartwell.pdf
- Hernández-Ramos, J., J. J. García-Magaña, X. García-Cuevas, A. Hernández-Ramos, H. Muñoz-Flores, M. Samperio-Jiménez. (2015). *Índice de sitio para bosques naturales de Pinus teocote Schiede ex Schltdl. En el oriente del estado de Hidalgo*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 6(27):24-37
- Herrera-Vargas. E. B. 2013. *Consumo energético y la generación de residuos: análisis de la carbono neutralidad y niveles socioeconómicos de las áreas metropolitanas de Lima norte y Lima centro*. Tesis de maestría. Lima, Perú
- Higuera, M. A. y C. G. Vallecillo. (2002). *Protocolo de Kyoto, situación actual y perspectivas*. WWF/adena Madrid, España. 16 p.
- Hipkins, MF. (1984). *Photosynthesis*. In: Wilkins, MB. (ed.) 1984. Plant physiology. Pitman Publishing Limited, London, UK. P 219-248.
- Hoz- Rodríguez, F. M. J. A. Oliet-Palá, B. Abellanas-Oar, S. Cuadros-Tavira, P. Fernández-Rebollo y R. Zamora-Díaz. (2004). *5. El inventario del Monte: Inventario de recursos y funciones*. In: *Manual de Ordenación de Montes de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla, España. 86-160 p.
- Iglesias N. A y J. G. Roco. (2007). *Desafíos de la sustentabilidad del desarrollo*. Estrategias de manejo del riesgo ambiental. Revista Universitaria de Geografía. Num. 16. Pp. 17-48.



- INECC. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-cambio-climatico-sinacc>. Página consultada en enero 2018.
- INECC. (2018). Gases y compuestos de efecto invernadero INECC-SEMARNAT.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (1992). *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Report of the IPCC. Scientific Assessment Working Group* (Houghton, J.T., B.T. Callander and S.K. Varney (eds). Cambridge University Press, Cambridge y New York, 200 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (1995). *CLIMATE Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (1995). *Climate Change 1995. The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, U.K.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (1999). *Climate Change 1999. Aviation and the Global Atmosphere*
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Summary. U.K.: WMO-UNEP. Cambridge University Press.



- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2001a). *Climate Change 2001: Synthesis Report, for Policy Makers*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2001b). Houghton, J., Y. Ding, D. Griggs, M. Noguer, J. van del Linden, D. Xiaosu (Eds.). *Cambio Climático 2001. La base científica. Contribución del grupo de trabajo I al tercer informe de evaluación del IPCC*. Cambridge University Press. Cambridge, New York. P. 93
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2007a). Resumen para responsables de políticas. En Pachauri, R.K. y Reisinger, A. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: Cambridge University Press. P. 104
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2007b). *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2011). *Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.



- Iuell B., Bekker G.J., Cuperus R., Dufek J., Fry G., Hicks C., Hlavác V., Keller V.B., Rosell C., sangwine T., Torslov N., Wandall B. Le Marie. (2005). *Fauna y tráfico: Manual europeo para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones*. Servicio de Publicaciones. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España
- Janzen, D. H. 1988. Management of habitat fragments in a tropical dry forest: grow. *Ann. Missouri Botanical Garden*. 75:105-116
- Jiménez-Sierra, C. y L. E. Eguiarte. (2010). *Candy Barrel Cactus (Echinocactus platyacanthus Link & Otto): a traditional plant resource in Mexico subject to uncontrolled extraction and browsing*. *Economic Botany*. 64(2): 99-108
- Juho Matala, Leena Kärkkäinen, Kari Härkönen, Seppo Kellomäki y Tuula Nuutinen. (2009). *Carbon sequestration in the growing stock of trees in Finland under different cutting and climate scenarios*. *Journal Forest Res* 128:493–504
- Kanninen, M. (2000). *Secuestro de carbono en bosques: el papel de los bosques en el ciclo global de carbono*. II Conferencia electrónica Agroforestería para la producción animal en América Latina (FAO-CIPAV).
- Karnosky, D. F., R. Ceulemans, G. E. Scarascia-Mugnozza, J. L. Innes. (2001). *The impact of carbon dioxide and other greenhouse gases on forest ecosystems*. Wallingford: CABI Press



- Klein, C. (2000). Inventario y evaluación de árboles fuera del bosque en grandes espacios. *Unasyuva*. Vol 51(200). Roma.
- Labrecque, S., R. Fournier, J. Luther, and D. Piercey. 2006. A comparison of four methods to map biomass from Landsat-TM and inventory data in western Newfoundland. *For. Ecol. Manage.* 226: 129-144.
- Lal, R. (2004). *Agricultural activities and the global carbon cycle*. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 70, 103–116.
- Lal, R. (2008). *Carbon sequestration*. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363: 815–830.
- Lambers, H., T. Pons, S. Chapin. (2008). *Plant Physiological Ecology*. Springer-Verlag New York Inc. 605 pags
- Laurance, W.F. Peres, C.A. (2006). *Emerging threats to tropical forest*. University of Chicago Press, Chicago.
- Li-cor. (2011). *Portable Photosynthesis System*. Li-cor Biosciences Inc.
- Lojan, I. L. (1966). *Apuntes del curso de dasometría*. IICA, Turrialba, Costa Rica. Pp 1-50
- López, P. C. (2017). *Introducción a la Dasometría*. Universidad Autónoma de Chapingo. 29 pags.
- Luna-Reyes, M. y J. Llorente-Bousquets. (2004). *Papilionoidea (Lepidoptera: Rhopalocera) de la Sierra Nevada, México*. *Acta Zoológica Mexicana*. 2(20):79-102



- Ma, J. H. Shugart , X. Yan, C. Cao, S. Wu y J. Fang. 2017. Evaluating carbon fluxes of global forest ecosystems by using an individual tree-based model FORCCHN. *Science of the Total Environment* 586: 939–951
- Madrigal H., S., J. Moreno e I. Vázquez. (2005). *Comparación de dos métodos de construcción de curvas de índice de sitio para Pinus pseudostrobus Lindl. Lindl. Región Hidalgo-Zinapécuaro, Michoacán.* *Ciencias Nicolaita.* 40(1): 157—172. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/634/63439020003.pdf>
- Magurran A.E. (2004). *Measuring Biological Diversity.* Blackwell Science, Oxford.
- Magurran, A.E. (1988). *Ecological diversity and its measurement.* Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.
- Mäkelä, H., & y Pekkarinen, A. (2004). *Estimation of forest stand volumes by Landsat TM Imagery and stand-level field-inventory data.* *Forest Ecology and Management*, 196, 245-255.
- Mallén-Rivera, C. (2012). *Rachel Carson, 50 años de romper el silencio.* *Revista Mexicana de Ciencias Forestales.* 3(14). Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v3n14/v3n14a1.pdf>
- Margalef, D. R. 1958. *Information Theory in Ecology.* *General Systematics*, 3:36-71
- Martínez, M. (1948). *Las Coníferas Silvestres del Valle de México.* *Boletín de la Sociedad Botánica de México.* 7:1-21



- Martínez, Z.(2015). et al. Índice de sitio y producción maderable en plantaciones Forestales de Gmelina arbórea en Tabasco, México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 38 (4) 415 – 425.
- Masera, O. R., B. de Jong e I. Ricalde. (2000). *Consolidación de la oficina mexicana para la mitigación de gases de efecto invernadero*. Sector Forestal. Instituto de Ecología UNAM & ECOSUR.
- Masera, O., J.M. Ordóñez y R. Dirzo. (1997). *Carbon emissions from deforestation in Mexico: Current situations and long-term scenarios*. In W. Makundi and Sathaye (editores). *Carbon emissions and sequestration in forest: case studies from seven developing countries*. Berkeley, California.
- Masera, O., M.R. Bellon, y G.Segura. (1995a). *Response options for sequesering carbon in Mexico's forests*. Biomass & Bioenergy: 8(5): 357-367.
- Masera, O., T. Hernández, A. Ordóñez & A. Guzmán. (1995b). *Land use change and forestry: in preliminary inventory of national greenhouse gases*. Mexico. UNEP Proyect # GF/4102-92-01
- Mauerhofer, V. (2018). The law, ecosystem services and ecosystem functions: An in-depth overview of coverage and interrelation. *Ecosystem Services* 29:190–198
- McKinley, D.C., et al. 2011. A synthesis of current knowledge on forests and carbon storage in the United



- McRoberts, R. E., E. O. Tomppo y R. L. Czaplewski. (1992). *Diseño de muestreo de las Evaluaciones Forestales*. Antología de conocimiento para la evaluación de los recursos forestales. FAO. Roma, Italia. 21 pp.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers y W. Behrens III. (1972). *The limits to growth*. Potomac Associates Book.
- Méndez, L. G. y R. J. Novola. (2001). *Enciclopedia de los municipios de México, estado de México, Tlalmanalco*. Centro Nacional de Desarrollo Municipal. México.
- Méndez-Escobar, F. E. (2003). *La Cumbre de Johannesburgo y la participación de México: 30 años de esfuerzos multilaterales para avanzar hacia el desarrollo sostenible*. Revista Mexicana de Política Exterior. 67-68:73-100
- Méndez-González, J. M., S. L. Luckie-Navarrete, M. A. Capó-Arteaga y J. A. Nájera-Luna. (2011). *Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de Pinus devoniana Lindl. y P. pseudostrobus Lindl., en Guanajuato, México*. Agrociencia. 45:479--491
- Messina de Estrella Gutiérrez, G. N. (2012). *La Responsabilidad Covol en la Era Tecnológica*. AbeledoPerrot. 3°ed. Argentina, Buenos Aires. 496 p.
- Metz, B. et al. eds. (2005). Informe especial del IPCC. La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. IPCC.



- Metz, B., O. Davidson, H. de Coninck, M. Loos y L. Meyer (eds.). (2005). *La captación y el almacenamiento de bióxido de carbono*. Informe especial del IPCC. 57 pp
- Miguel-Martínez, A., G. Rodríguez-Ortíz, J. R. Enríquez-del Valle, M. I. Pérez-León, E. Castañeda-Hidalgo y W. Santiago-García. (2016). *Factor de expansión de biomasa aérea para Pinus ayacahuite Ehren del norte de Oaxaca*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 7(17):1575--1584
- Millenium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press. Washington, D.C.
- Miranda F. y E. Hernández X. (1963). *Los tipos de vegetación de México y su clasificación*. Bol. Soc. Bot. Mex Num. 23. México. SARH.
- Moctezuma, B. P. y M. González I. (Coords.). (2007). *Programa de Conservación y Manejo del Parque Estatal "Cerro El Faro" y "Cerro de los Monos"*. CENTLI-PISN. Línea Forestal y de Biodiversidad. 107 p.
- Monkman, S., M. MacDonald, R. Doug Hooton & P. Sandberg. (2016). *Properties and durability of concrete produced using CO₂ as an accelerating admixture*. Elsevier. 74:218-224.
- Montero G., M. Muñoz, J. Donés y A. Rojo. (2004). *Fijación de CO₂ por Pinus sylvestris L. y Quercus pyrenaica Willd. en los montes "Pinar de Valsaín" y "Matas de Valsaín"*. Revista Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales Vol 13 (2): 399-416.
- Montero-García, I. (2002). *Atlas Arqueológico de la Alta Montaña Mexicana*. Comisión Nacional Forestal. México



- Mooney, H. A., et al. (1999). *Ecosystem physiology responses to global change*. Pp. 141-189. En: B. Walker, W. Steffen, J. Canadell, & J. Ingram (eds.) *The Terrestrial Biosphere and Global Change: Implications for Natural and Managed Ecosystems*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mora-Vega, R. (2012). *Servicios ambientales y ecosistémicos: Conceptos y aplicaciones en Costa Rica*. Puentes. 13(2): 12-29
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol. 1*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe, UNESCO. GORFI (ed.). Zaragoza.
- Moreno, P. M. (2010). *Génesis, evolución y tendencias del paradigma del desarrollo sostenible*. Ed. Porrúa. 728 pags.
- Morrone, J. J. (2005). *Hacia una síntesis biogeográfica de México*. Revista Mexicana de Biodiversidad. 76(2): 207-252
- Muinonen, E., Maltamo, M., Hyppanen, H. and Vainikainen, V. (2001). *Forest stand characteristics estimation using a most similar neighbor approach and image spatial structure information*. Remote Sensing of Environment. 78: 223-228.
- Muller-Dombois, D. y H. Ellenberg. (1974). *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. N. Y. Wiley International edition. 547 pp.
- Nakama V., A. Alfieri., R. Casa., A. Lupi., G. López y P. Pathauer. (2003). *Secuestro de carbono en plantaciones forestales de la Región Centro*



Oeste de la Provincia de Buenos Aires. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. 11 p.

- Navar, J. (2009). *Allometric equations for tree species and carbon stocks for forest of northwestern Mexico*. *Forest Ecology and Management*. 257:427-434
- Navar-Cháidez, J. J. (2009). *Allometric equations factors for tropical dry trees of eastern Sinaloa, Mexico*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10: 45--52
- Nilsson, S. y Schophauser, W. (1995). *The carbon-sequestration potential of a global afforestation program*. *Climatic Change* 30.
- Norverto, C. A. (2003). *La fijación de CO₂ en plantaciones forestales y en productos de madera en Argentina*. XII World Forestry Congress. Québec City, Canada
- Novo, M. (1995). *La educación ambiental, bases éticas, conceptuales y metodológicas*. Madrid. Editorial Universitas S.A.
- Ochoa-Hueso, R. (2017). *El ciclo del nitrógeno y el hombre: De lo esencial a lo excesivo*. *Ecosistemas*. 26(1):1-3. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/316592732_El_ciclo_del_nitrogeno_y_el_hombre_De_lo_esencial_a_lo_excesivo
- Olguín M. (2001). *Incorporación de la captura de carbono como propuesta de manejo forestal integral: estudio de caso en una comunidad de la*



meseta Purépecha, México (Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias-UNAM. México). México.

- ONU. (2005). Evaluación de los Ecosistemas del Milenio.
- ONU. (2012). Enmienda de Doha, adoptada por la Decisión 1/CMP de 8 de diciembre de 2012 de la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Protocolo de Kyoto.
- Ordoñez, A. (1998). Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. México D.F.
- Ordóñez, A. (1999). *Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso*. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAP. México. D.F.
- Ordóñez, J. A. B. y O. Maser. (2001). *Captura de carbono ante el cambio climático*. Madera y Bosques 7 (1): 3-12.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1992b). *Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1997). Asamblea General. Nueva York, Estados Unidos de América, 27 de junio de 1997.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado de <http://www.cambioclimatico.org/sites/default/files/kpspan.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2002a). *Informe de la Cumbre Mundial sobre el desarrollo Sostenible*. Johannesburgo, Sudáfrica, 26 de agosto a 4 de septiembre de 2002.



- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2012). *El futuro que queremos*. Río de Janeiro, Brasil, 11 de septiembre de 2012
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (3 al 14 de junio de 1992a). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Río de Janeiro, Brasil
- Organización de las Naciones Unidas. (2002b). *Anexo 5. Extractos del Plan de Implementación de Johannesburgo (Jpol) de la cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (A/CONF.199720)*. Johannesburgo, Sudafrica 26 de agosto * 4 de septiembre de 2002
- Organización de las Naciones Unidas. (ONU). (1972). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*.
- Organización de las Naciones Unidas. 06 de diciembre de 2017. *La ONU celebra el vigésimo aniversario del Protocolo de Kyoto*. ONU Cambio Climático.
- Pardos, J. A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. INIA. Recuperado de http://www.inia.es/GCONTREC/PUB/60587OT_LIBRO_WEB_1277883079734.pdf
- Pérez-Vázquez A. y C. Landero-Sánchez. Enero-Marzo, 2009. Agricultura y deterioro ambiental. *Elementos* 73 (16). Recuperado de <http://www.elementos.buap.mx/num73/pdf/19.pdf>
- Peter H. Raven, H. P et al. (2014). *The Flow of Energy in Ecosystems*. En: *Biology*, 10th ed. McGraw-Hill.



- Petit J.R. et al. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399: 429 – 436. Año 1999.
- Pineda, M. S. (En Prensa). Impacto de la actividad humana en la determinación de captura de bióxido de carbono, en el bosque de pino-encino, del parque El Faro. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Distrito Federal, México.
- Plan Nacional de Desarrollo 2013. Gobierno de la república. <http://pnd.gob.mx/>
- PNUMA. (2005). *6.1. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.* Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Caracas, Venezuela del 31 de octubre al 4 de noviembre de 2005
- Portillo-Quintero, C. A. y G. A. Sánchez-Azofeifa. (2010). *Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas.* *Biological Conservation.* 143(1): 144-155
- Post, W. M., Emmanuel W. R., Zinke P. S. y A. G. Stangenberger. (1982). *Soil carbon pools and world life zones.* *Nature* 298: 156-159.
- Primack, R. (1993). *Essentials of biodiversity conservation.* Massachusetts, USA.
- Quiñones-Chávez, A. y H. Ramírez-Maldonado. (1998). *Evaluación de la calidad de sitio y del efecto de la densidad en bosques de Pinus cooperi del estado de Durango.* *Revista de Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.* 4(2): 311--314



- Quiroga, M. R. (2007). *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe*. CEPAL. ONU
- Rahmana, F. A. et al. 2017. Pollution to solution: Capture and sequestration of carbon dioxide (CO₂) and its utilization as a renewable energy source for a sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 71: 112–126.
- Ramírez, A. y T. León. (2004). *Impacto del crecimiento industrial en la salud de los habitantes del Perú*. Anales de la Facultad de Medicina. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2(65):111--118
- Rattan, L. (2008). *Carbon sequestration*. *Phil. Trans. R. Soc. B* (2008) 363, 815–830. Recuperado de <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/royptb/363/1492/815.full.pdf>
- Raudsepp-Hearne C., G. D. Peterson & E. M. Bennett. (2010). *Ecosystem service bundles for analyzing trade offs in diverse landscapes*. *Proc Natl Acad Sci USA*. 11(107):5242-5247
- Reid, V. W. (2003). *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA)*. UNEP.
- Rivas, T. D. (2002). *Sistemas de producción forestal*. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 26 pags
- Rivas, T. D. (2006). *Evaluación de los recursos forestales*. Universidad Autónoma Chapingo. 26 pp.
- Rodríguez J.P., T. Jr. Douglas-Beard, E. M. Bennett, G. S. Cumming, S. J. Cork, J. Agard, A. P. Dobson & G. D. Peterson. (2006). *Trade-offs*



across Space, Time, and Ecosystem Services. Ecology and Society.

1(11): 28

- Rodríguez-Becerra. (2003). *Declive de las instituciones y la política ambiental en América Latina y el Caribe, presentación en el Seminario Internacional Gestión Ambiental en América Latina y el Caribe: retos y oportunidades*, realizado en Bogotá, el 6 y 7 de noviembre de 2003, organizado por el Foro Nacional Ambiental
- Rodríguez-Larramendi, L. A., F. Guevara-Hernández, L. Reyes-Muro, J. Ovando-Cruz, J. Nahed-Toral, M. Prado-López, R. A. Campos-Saldaña. (2016). *Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región frailesca de Chiapas, México*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 7(37):77--94
- Rogelio O. Corona-Núñez, R., J.Campo, M. Williams. 2018. Aboveground carbon storage in tropical dry forest plots in Oaxaca, Mexico. Forest Ecology and Management 409: 202–214
- Romahn, C., H. Ramírez y Treviño J. (1994). *Dendrometría*. Universidad Autónoma
- Rüginitz, T. M., M. C. León y R. Porro. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Manual técnico 11, Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/ Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). Lima, Perú
- Ruíz-Díaz, C., G. Rodríguez-Ortíz, J. C. Leyva-López y J. R. Enríquez-del Valle. (2007). *Metodología para estimar biomasa y carbono en especies forestales de México*. Naturaleza y Desarrollo 1(12): 28-44



- Ruíz-Pérez, M., C. García-Fernández y J. A. Sayer. (2007). *Los servicios ambientales de los bosques*. Ecosistemas. 16(3):51-90
- Russell, M., D. , G.M., Woodall, C.W., D'Amato, A.W. 2015. Comparisons of allometric and climate-derived estimates of tree coarse root carbon stocks in forest of the United States. Carbon Balance Manage. 10 (1), 20.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México
- Sabine, C. L., R. A. Feely, N. Gruber, R. M. Key, K. Lee, J. L. Bullister, R. Wanninkhof, C. S. Wong, D. W. R. Wallace, B. Tilbrook, F. J. Millero, T. Peng, A. Kozyr, T. Ono & A. F. Rios. (2004). The Ocean Sink for Anthropogenic CO₂. *Science*. Recuperado de http://shadow.eas.gatech.edu/~kcobb/ocean_acid/sabine%20et%20al%202004.pdf
- Sánchez, M. D. y M. Rosales Méndez. (2003). *Agroforestería para la producción animal en América Latina-II*. FAO. Memorias de la segunda conferencia electrónica (agosto de 2000-marzo de 2001)
- Sarmiento J. L. y N. Gruber. (2002). *Sinks for anthropogenic carbon*. Physics Today. 55(8):30-36.
- Sarukhán, J., P. Koleff, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo, J. Llorente-Bousquets, G. Halffter, R. González, I. March, A. Mohar, S. Anta y J. De la Maza. (2009). *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. 100 p.



- Saugier, B & J. Y. Pontailier. (2006). El ciclo global del carbono y sus consecuencias en la fotosíntesis en el Altiplano boliviano. *Ecología en Bolivia*. 41(3):71-85
- Scarascia-Mugnozza, G. E., D. F. Karnosky, R. Ceulemans and J. L. Innes. (2001). *The Impact of CO₂ and Other Greenhouse Gases on Forest Ecosystems: an Introduction*. In: The Impact of Carbon Dioxide and other Greenhouse gases on forest ecosystems. 2001. Karnosky, D. F., R. Ceulemans, G. E. Scarascia-Mugnozza and J. L. Innes (eds). IUFRO Research series. 8. Pp. 361
- Schelhaas, M. J., G. J. Nabuurs, Jans. E. Moors y W. P. Daamen. (2004). *Closing the carbon budget of a scots pine forest in the netherlands*. *Climatic Change* 67: 309–328
- Schimel, D.S. (1995). *Terrestrial ecosystems and the carbon cycle: Global Change*. *Biology*. 1:77-91.
- Schlegel, B. (2001). *Estimación de la biomasa y carbon en bosques del tipo forestal siempre verde*. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Chile
- Schlesinger, W. H. (1997). *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. New York: National Academic Press.
- Schneider, S. H. 1989. The greenhouse effect: science and policy. *Science*. 243(10), 271-281
- Schulze E. D.; Wirth Ch. and M. Heimann. (2000). *Managing forest after Kyoto*. *Science*. 289(5487): 2058-2059



- SCRIPPS CO₂ PROGRAM.
http://scrippsco2.ucsd.edu/graphics_gallery/mauna_loa_record/mauna_loa_record.html. Consultada mayo, 2018.
- SEMARNAT. (2001). *México II Comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático*. Comité intersecretarial sobre cambio climático. SEMARNAT-INE. México, D. F. 374 p.
- SEMARNAT. (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 de la Federación. 30 de diciembre de 2010, Segunda Sección. México, DF.
- SEMARNAT. (2013). Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018
- SEMARNAT. (2018). <http://www.conafor.gob.mx/web>. Página consultada en febrero 2018.
- SEMARNAT. CONAFOR. (2016). *Estrategia de Integración para la Conservación y el uso sustentable de biodiversidad*. Sector Forestal 2016-2022.
- Senado de la República (SENADO). (2012). *Opinión de la Comisión Especial de Cambio Climático*. Comisión Especial de Cambio Climático.
- Shannon, C. E. and W. Weaver. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. University Illinois Press. Urbana, Illinois



- Shannon, C.E. (1948). *A mathematical theory of communication*. The Bell System Technical Journal, 27: 379-423.
- Silva-Arredondo, F. M. y J. de J. Navar-Cháidez. (2009). *Estimación de Factores de Expansión de Carbono en Comunidades Forestales Templadas del Norte de Durango, México*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 15(2): 155-160.
- Simpson, E.H. (1949). *Measurement of diversity*. Nature 163: 688.
- Snowdon, P., Raison, J., Keith, H., Montagu, K., Bi, K., Ritson, P., Grierson, P., Adams, M., Burrows, W. and D. Eamus. (2001). *Protocol for sampling tree and stand biomass*. National carbon accounting system technical report No. 31 Draft-March 2001. Australian Greenhouse Office. 114 p.
- Torres, J. M. y O. S. Magaña. (2001). *Evaluación de Plantaciones Forestales*. Ed. Limusa. México, D. F., México. 472 p
- Torres, R., J. M. y A. Guevara S. (2002). *El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico*. Nueva época. Gaceta Ecológica. INE-SEMARNAT. México. Número 63
- Trexler, M.C. y C. Haugen. (1994). *Keeping It Green: Evaluating Tropical Forestry Strategies to Mitigate Global Warming*. World Resources Institute, Washington, DC, USA
- Tudela, F. (2014). *Negociaciones internacionales sobre cambio climático. Estado actual e implicaciones para América Latina y el Caribe*. Organización de las Naciones Unidas. 113 pp.



- Valdez-Lazalde, J. R., González-Guillen, M.J. y De los Santos-Posadas, H.M. (2006). *Estimación de cobertura arbórea mediante imágenes satelitales multiespectrales de alta resolución*. *Agrociencia*, 40, 383-394.
- Valencia–Giraldo, A. (2001). *El gran músculo mecánico: la máquina de vapor*. *Revista Facultad de Ingeniería*. 23:120-139
- Vásquez-Fabian, S. A., G. Rodríguez-Ortiz, J. R. Enríquez-del Valle, G. V. Campos-Angeles y A. Santana-Flores. (2017). *Volumen y Biomasa aérea de Pinus pseudostrobus y P. teocote del Sur de Oaxaca*. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 4(2): 164--172
- Villers R., L. e I. Trejo V. (1997). *Assessment of the vulnerability off Forest ecosystems to climate change in Mexico*. *Climate Research* 9:87-93
- Walkley A.; Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*: 37: 29-38
- Warrick R.A., Hart W.E., Yitayew M. (1989). *Changes in sea level. Climate Change*. The science of climate change. Editors. Cambridge University Press. 359-406.
- Yuan, Z., et al. 2018. Abiotic and biotic determinants of coarse woody productivity interperate mixed forests. *Science of the Total Environment* 630: 422–431
- Zawadzki, J., Cieszewski, C.J., Zasada, M., & Lowe, R.C. (2005). *Applying geostatistics for investigations of forest ecosystems using remote sensing imagery*. *Silva Fennica*. 39(4): 599-617.



- Zhong, L. (2009). *Organic carbon content and distribution in soils under different land uses in tropical and subtropical China*. Plant and Soil. 23:175-185.
- Zwaan A. J. y Koen N. (2009). *Carbon emissions from forests: Current situation and long-term scenarios*. Climatic Change. 35: 265-295.
- <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/cds/vivirconelriesgo/pdf/Annex%205%20JPol.pdf>
- http://www.conanp.gob.mx/quienes_somos/pdf/programa_07012.pdf
- <http://www.uncitral.org/uncitral/es/commission/sessions.html>
- <https://cop23.unfccc.int/es/news/la-onu-celebra-el-vigesimo-aniversario-del-protocolo-de-kyoto>
- https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?name_desc=false
- <https://www.epa.gov/nepa/what-national-environmental-policy-act>



Glosario

- **Altura.** Es una variable necesaria para estimar el volumen, crecimiento, clasificación de sitios. Se divide en altura total, altura del fuste, altura de la copa, altura comercial. Se puede realizar esta medición por medio de instrumentos basados en principios geométricos (hipsómetro Haga).
- **Alturas de árboles:** Se expresan generalmente en metros y en ocasiones en decímetros.
- **Área Basimétrica o Basal:** Se expresa siempre en m²/Ha.
- **Diámetro a la altura del pecho (DAP).** Con esta medida se trata de conocer el diámetro que tiene el fuste del árbol a 1.30 m, sobre el nivel del suelo. Para realizar esta medición se puede utilizar una cinta diamétrica, una forcípula o una regla de Biltmore
- **Diámetros de secciones del árbol:** se expresan generalmente en centímetros y en ocasiones en decímetros o milímetros.
- **Diámetros de la copa de los árboles:** se expresan generalmente en metros y en ocasiones en decímetros.
- **Espesores de corteza:** Habitualmente se expresan en milímetros.
- **Longitudes de troncos, fustes y trozas:** Se expresan generalmente en metros y en ocasiones en decímetros.
- **Longitudes de crecimientos diametrales:** habitualmente se expresan en milímetros.
- **Longitudes de malla o de distancias con rumbo en la localización de parcelas:** Se expresan generalmente en metros.



- Perímetros o circunferencias de secciones del árbol: se expresan generalmente en centímetros y en ocasiones en decímetros o milímetros.
- Perímetros de montes, longitudes de caminos forestales, vías de saca: Se expresan generalmente en kilómetros.
- Peso: Es el peso que tienen las diferentes secciones del árbol, como son fuste, ramas y hojas, se toma inicialmente el peso fresco, se seca en estufa y posteriormente se toma el peso seco. La estimación de la cantidad de madera contenida en un árbol puede hacerse con ventaja para algunas aplicaciones, en peso en lugar de en volumen. Generalmente expresado en kilogramos por individuo o por hectárea.
- Radios, lados y perímetros de parcelas: Se expresan generalmente en metros.
- Secciones del árbol supuestas circulares: se expresan generalmente en cm^2 , dm^2 y en ocasiones en m^2 .
- Superficie que proyectan las copas de los árboles sobre el suelo: habitualmente en m^2
- Volumen del árbol individual en m^3 y en dm^3
- Volumen de masas forestales en m^3/Ha .



Anexo I

Se presentan las tablas que contienen los datos obtenidos en campo de cada rodal muestreado, con los datos de especie, diámetro a la altura del pecho, altura, anillos de crecimiento y anillos de crecimiento en 2.5 cm.

Tabla.12. Rodal 1

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	48.40	22.00	68.00	11.00
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl	46.20	22.50	61.00	15.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	57.40	24.00	54.00	13.00
<i>Pinus sp</i>	19.40	7.00	11.00	8.00
<i>Pinus ayacahuíte</i> Ehren	73.30	26.00	59.00	12.00
<i>Pinus ayacahuíte</i> Ehren	63.80	25.00	61.00	9.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	66.90	29.00	47.00	10.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	63.80	28.50	52.00	20.00
<i>Pinus sp</i>	44.60	18.00	61.00	15.00
<i>Pinus sp</i>	55.10	25.00	53.00	13.00
<i>Pinus sp</i>	41.70	27.00	60.00	9.00
<i>Pinus sp</i>	63.90	26.00	51.00	11.00
<i>Pinus sp</i>	29.00	11.00	22.00	9.00
<i>Cupressus lusitanica</i>	9.80	4.00	24.00	11.00
<i>Pinus sp</i>	7.00	5.00	8.00	8.00
<i>Cupressus lusitanica</i>	12.40	8.00	26.00	10.00
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham	17.50	7.00	16.00	10.00
<i>Pinus sp</i>	10.20	6.00	10.00	9.00
<i>Pinus ayacahuíte</i> Ehren	51.00	24.00	41.00	12.00
<i>Pinus sp</i>	76.40	26.00	56.00	11.00
<i>Pinus sp</i>	67.10	28.00	47.00	11.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	74.20	29.00	46.00	10.00
<i>Pinus ayacahuíte</i> Ehren	67.50	27.00	51.00	12.00
<i>Pinus sp</i>	62.10	28.00	48.00	14.00



Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Pinus ayacahuite Ehren</i>	62.80	20.00	62.00	8.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	1.50	13.95	12.00	8.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	17.90	7.44	11.00	8.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	16.30	7.44	12.00	8.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	10.80	4.96	16.00	8.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	13.70	5.11	10.00	8.00
<i>Cupressus lusitanica</i>	10.00	4.65	13.00	10.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	10.00	5.58	8.00	7.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	10.80	7.59	10.00	9.00
<i>Cupressus lusitanica</i>	10.00	7.44	13.00	10.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	10.00	5.58	13.00	12.00
<i>Pinus ayacahuite Ehren</i>	62.70	34.10	64.00	12.00
<i>Pinus ayacahuite Ehren</i>	65.90	34.10	58.00	9.00
<i>Pinus ayacahuite Ehren</i>	70.50	34.10	58.00	11.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	11.40	4.50	11.00	8.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	10.00	4.50	10.00	9.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	10.00	4.00	9.00	8.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	41.30	5.40	10.00	8.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	11.00	5.10	11.00	9.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	10.20	5.00	11.00	8.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	10.00	4.80	12.00	9.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	10.00	5.00	8.00	8.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	11.80	9.92	10.00	8.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	12.50	6.51	11.00	9.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	24.60	10.85	22.00	10.00
<i>Pinus sp</i>	15.70	12.40	16.00	9.00
<i>Pinus sp</i>	18.90	11.93	18.00	9.00
<i>Pinus patula Schl. et Cham</i>	10.00	5.42	10.00	9.00



Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham	10.00	9.76	12.00	9.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	57.40	30.00	62.00	11.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	73.20	28.00	57.00	11.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	59.50	27.90	69.00	14.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	62.50	26.00	57.00	15.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	51.90	25.50	61.00	14.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	41.40	28.00	46.00	16.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	61.50	28.00	56.00	15.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	61.10	26.00	57.00	11.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	45.20	26.00	56.00	18.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	42.60	26.00	61.00	17.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	54.80	27.00	41.00	9.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	52.50	28.00	5.00	5.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	41.10	26.00	53.00	19.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	62.10	30.00	56.00	11.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	67.80	27.00	64.00	16.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	51.90	27.00	58.00	19.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	54.80	24.00	58.00	19.00



Tabla.13. Rodal 2

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Pinus sp</i>	62.80	29.00	51.00	20.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	65.00	24.50	73.00	16.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	57.30	26.50	58.00	19.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	61.40	25.00	76.00	15.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	58.00	26.00	55.00	18.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	53.60	27.00	62.00	17.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	25.50	15.00	28.00	12.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	27.00	17.00	27.00	16.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	17.50	11.00	16.00	13.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	18.20	9.50	26.00	8.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	10.50	12.50	21.00	17.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	15.00	13.00	42.00	21.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	10.80	14.00	21.00	16.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	12.70	15.50	20.00	12.00
<i>Pinus sp</i>	18.70	16.00	30.00	11.00
<i>Pinus sp</i>	12.10	11.00	36.00	19.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	59.60	36.00	61.00	20.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	38.80	32.00	56.00	26.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	58.00	35.00	50.00	15.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	62.40	25.00	69.00	18.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	49.60	27.00	67.00	27.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	47.10	24.00	68.00	22.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	64.30	24.00	---	---



Tabla. 14. Rodal 3

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	46.70	25.00	72.00	21.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	53.60	21.00	81.00	18.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	58.10	26.50	77.00	13.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	66.10	26.00	60.00	18.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	75.40	26.00	43.00	12.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	71.50	25.00	36.00	12.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	57.30	25.00	51.00	11.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	62.80	21.50	44.00	11.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	72.20	21.00	71.00	16.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	62.90	26.00	51.00	11.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	66.30	21.50	59.00	16.00

Tabla. 15. Muestreo en punto 4

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	42.50	21.00	75.00	22.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	51.30	20.00	66.00	20.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	47.20	18.00	87.00	22.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	44.60	17.00	59.00	20.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	62.00	18.00	49.00	14.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	45.20	18.00	67.00	19.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	60.30	21.00	71.00	21.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	55.80	18.00	68.00	13.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	32.00	9.00	55.00	18.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	42.80	20.00	55.00	16.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	35.90	18.50	56.00	34.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	45.50	17.00	55.00	14.00



Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	33.80	20.00	29.00	13.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	11.70	9.00	23.00	15.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	57.10	24.00	63.00	17.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	42.00	22.00	56.00	16.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	65.90	25.00	57.00	15.00

Tabla. 16. Rodal 5

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de Crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	78.60	18.00	45.00	21.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	63.10	20.00	61.00	14.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	46.90	16.50	5.00	5.00

Tabla. 17. Rodal 6

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	57.30	26.00	57.00	19.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	50.70	20.00	73.00	12.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	66.90	23.00	45.00	12.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	44.60	18.00	53.00	17.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	57.00	17.00	20.00	11.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	38.00	13.00	15.00	11.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	39.00	13.00	16.00	12.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	67.30	25.00	51.00	15.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	68.00	20.00	63.00	15.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	10.70	13.00	19.00	14.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	50.00	22.50	70.00	13.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	68.00	26.00	71.00	17.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	56.00	20.00	41.00	14.00



Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	46.00	27.50	61.00	25.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	45.50	27.00	56.00	13.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	52.00	18.50	57.00	17.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	66.00	21.00	61.00	15.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	56.90	17.00	51.00	18.00

Tabla 18. Rodal 7

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de Crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	57.30	26.50	66.00	15.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	59.30	25.00	55.00	16.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	66.00	26.00	54.00	13.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	67.30	26.00	59.00	18.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	37.80	28.00	51.00	21.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	70.60	26.00	49.00	15.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	62.40	28.00	61.00	22.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	25.03	25.00	56.00	16.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	10.90	20.00	22.00	15.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	30.00	17.50	27.00	15.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	72.00	22.50	52.00	13.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	67.20	20.00	69.00	19.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	21.80	20.50	33.00	14.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	12.00	18.00	21.00	13.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	18.70	18.00	25.00	12.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	67.30	22.00	69.00	20.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	50.30	25.00	72.00	16.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	45.20	26.00	70.00	15.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	64.60	20.00	54.00	13.00



<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	64.10	25.00	79.00	18.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	73.40	28.00	60.00	15.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	13.10	8	48.00	14.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	12.60	8	19.00	14.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	14.00	9.5	22.00	14.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	10.80	8	17.00	10.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	14.90	8.5	20.00	12.00

Tabla. 19. Rodal 8

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham	11.80	8.00	---	---
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	59.20	22.50	67.00	14.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	41.50	22.00	62.00	22.00
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham	NA	NA	---	---
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham	14.40	5.00	30.00	13.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	63.80	25.00	42.00	13.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	48.30	20.00	---	---
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	65.90	20.00	61.00	14.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	39.50	23.00	56.00	26.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	60.80	23.50	60.00	16.00

Tabla. 20. Rodal 9

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de Crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	34.10	11.50	43.00	16.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	36.30	14.00	53.00	15.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	22.00	16.00	24.00	15.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	13.10	10.00	16.00	16.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	10.10	8.00	22.00	13.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	41.40	16.00	43.00	15.00



Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de Crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	10.20	8.00	17.00	13.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	14.70	17.00	20.00	11.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	13.10	3.00	19.00	14.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	15.00	11.50	32.00	12.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	50.30	17.00	60.00	22.00

Tabla. 21. Rodal 10

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de Crecimiento 2,5 cm
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	60.50	26.00	74.00	23.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	82.00	22.00	51.00	12.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	67.20	30.00	69.00	18.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	68.50	28.00	83.00	18.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	63.70	20.00	47.00	11.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	54.50	26.00	65.00	16.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	70.00	31.00	55.00	16.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	47.80	24.50	65.00	18.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	59.20	20.00	80.00	21.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	59.90	25.50	65.00	16.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	73.20	27.00	58.00	14.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	10.00	8.00	29.00	17.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	53.50	32.00	45.00	15.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	72.60	30.00	50.00	11.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	39.80	17.00	65.00	24.00



Tabla 22. Rodal 11

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de crecimiento (2.5 cm)
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	93.30	27.5	64.00	19.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	57.70	25	60.00	13.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	56.60	27	64.00	14.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	65.80	23	49.00	14.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	74.00	24	58.00	17.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	55.70	26	55.00	22.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	57.30	28	55.00	13.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	51.90	24	60.00	19.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	51.40	24	51.00	21.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	50.50	18	45.00	16.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	67.40	29.5	55.00	14.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	56.00	23	57.00	18.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	49.30	20	56.00	18.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	76.00	26	64.00	17.00

Tabla 23. Rodal 12

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de crecimiento 2.5 cm
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	55.50	26.00	50.00	13.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	61.40	28.50	68.00	17.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	57.90	20.00	73.00	15.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	75.50	19.50	63.00	12.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	41.50	12.00	81.00	30.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	10.10	8.00	18.00	13.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	14.30	7.00	20.00	12.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	10.00	6.00	15.00	12.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	54.30	20.00	83.00	19.00



Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de crecimiento 2.5 cm
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	58.00	19.00	53.00	20.00

Tabla. 24. Rodal 13

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de crecimiento 2.5 cm
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	62.90	18	46.00	12.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	34.40	15	37.00	11.00
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	64.80	29	62.00	20.00
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	53.70	26	64.00	18.00
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	67.30	30	58.00	14.00

Tabla. 25. Rodal 14

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de crecimiento 2.5 cm
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	97.20	26.00	50.00	14.00
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	20.80	18.50	28.00	10.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	13.60	4.50	18.00	11.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	17.90	6.00	30.00	13.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	11.50	6.50	24.00	12.00
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	63.70	19.00	39.00	12.00
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	60.30	18.00	55.00	15.00
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	73.50	28.00	58.00	19.00
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	69.30	19.00	49.00	12.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	74.30	31.00	5.00	5.00

Tabla 26. Punto de muestreo 15

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de crecimiento 2.5 cm
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	46.50	24	55.00	20.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	55.80	21	57.00	14.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	44.00	19	58.00	17.00



Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de crecimiento 2.5 cm
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	48.90	21	55.00	19.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	14.50	14	22.00	15.00
<i>Pinus montezumae</i> Lamb. Lamb.	17.70	11	24.00	12.00
<i>Pinus montezumae</i> Lamb. Lamb.	21.40	16	25.00	11.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	46.20	19.5	79.00	16.00

Tabla. 27. Punto de muestreo 16

Especie	Diámetro (cm)	Altura (m)	Anillos de crecimiento	Anillos de crecimiento 2.5 cm
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	72.40	22	50.00	8.00
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	68.10	22	52.00	7.00
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	11.60	7	15.00	7.00
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham	20.40	16	20.00	6.00
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham	16.60	11	18.00	7.00
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham	10.90	10	16.00	7.00
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	81.00	26	50.00	8.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	16.50	11	14.00	7.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	12.30	9	12.00	8.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	15.10	12	15.00	7.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	18.40	16	15.00	8.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	15.70	14	11.00	5.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	10.10	9	16.00	9.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	12.60	10	16.00	7.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	32.60	14	17.00	6.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	11.20	10	25.00	10.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	14.10	12	16.00	7.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	14.30	10	14.00	9.00
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	17.00	11	18.00	7.00



Anexo II

Para calcular la Calidad de Sitio, se utilizó la ecuación usada por García-Aguilar *et al.*, (2017), en donde primero se determinó el Índice de Sitio (IS), utilizando el modelo de Schumacher:

$$IS = 4033e^{-13.52(1/edad)}$$

Donde:

IS = Índice de sitio (m)

$$e = 2.7182$$

Para la Calidad de Sitio se agruparon de acuerdo con el IS en donde: calidad baja ($IS \leq 24$ m), calidad regular ($IS > 24, \leq 27$), calidad buena ($IS > 27, \leq 30$), calidad muy buena ($IS > 30, \leq 33$).

Según la FAO (2013) y Bolaños-González (2017), se proponen las siguientes ecuaciones para obtener la biomasa y contenido de carbono para *Cupressus lusitanica* Mill.:

$$B = 0.5266 DN^{1.7712}$$

Donde:

B = Biomasa (Kg)

DN = Diametro Normal (cm)



La ecuación para estimar carbono es la siguiente:

$$C = 0.2639 DN^{1.7698}$$

Donde:

C = Contenido de Carbono (Megagramos/hectarea, Mg/ha)

DN = Diámetro Normal (cm)

Según Silva-Arredondo y Navar-Cháidez (2009), para el género *Pinus spp.* para la conversión de volúmenes verdes a peso seco, para la conversión de volumen a biomasa se utilizaron dos procedimientos.

El primero se realizó por medio de ecuaciones. La biomasa total por unidad de superficie se determinó con la suma de la biomasa del fuste y de las ramas de cada árbol, se utilizó el diámetro normal de los árboles (1.30 m). consistente con la aplicación de las ecuaciones alométricas de biomasa. En este procedimiento el resultado es en toneladas de biomasa arbórea por unidad de superficie (Mg/ha). Para el género *Pinus spp.* Se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$B_{fuste} = 0.1192 D^{2.3231}$$

$$B_{ramas} = 0.0173 D^{2.3824}$$

$$B_{total} = B_{fuste} + B_{ramas}$$

Donde:

B_{fuste} = Biomasa del fuste

B_{ramas} = Biomasa de las ramas



B_{total} = Biomasa total expresada en Kg por árbol

D = Diametro normal

El segundo procedimiento se realizó por medio del uso de la densidad básica de la madera de la siguiente forma:

$$\mathbf{B = V * r}$$

Donde:

B =Biomasa (Mg/ha)

r = Densidad básica de la madera (g/cm³ o en Mg/m³)

Para calcular la densidad básica de la madera:

$$\mathbf{r = [(0.5-0.75 (h/H)) + (0.47-0.06 (h/H))]}$$

Donde:

r = Densidad básica de la madera (g/cm³ o en Mg/m³)

h/H = Altura relativa del árbol (m)

Para determinar el volumen de ramas y fuste se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\mathbf{V_{fuste} = -0.075 + 0-3436D +0.3669 * D^2 H}$$

$$\mathbf{V_{ramas} = 2.4563 * D^2-0.00032 * D * H}$$



Donde:

V_{fuste} = Volumen del fuste (m^3)

V_{ramas} = Volumen de ramas (m^3)

D = Diámetro (m)

H = Altura total (m)

Los factores de expansión de carbono (FEC) estimados mediante la ecuación de biomasa para el género *Pinus spp.* fue de 0.42 Mg C/ m^3 .

Para calcular el Contenido de Carbono se tiene la siguiente ecuación:

$$CC = FEC * V$$

Donde:

CC = Contenido de carbono total (Mg/ha)

FEC = Factor de expansión de carbono (Mg/m^3)

V = Volúmen por hectárea (m^3)

Para *Pinus ayacahuite Ehren* se utilizarán las ecuaciones que se presenta en Miguel-Martínez *et al.*, (2016):

$$VT_{cc} = 0.0004670490 (DN^2) + 0.0000088023 (DN^2 \times AT)$$

Donde:

VT_{cc} = Volumen total con corteza (m^3)

DN = Diámetro Normal



AT = Altura Total

$$\text{FEB} = \frac{\text{BT}}{\text{VT}} = \frac{0.00817 \times \text{AT}^{1.5928} \times \text{DN}^{-0.4072}}{0.000467049 + 0.0000088023 \times (\text{DN} \times \text{AT})}$$

Donde:

FEB = Factor de Expansión de Biomasa (Kg m^{-3})

AT = Altura Total (m)

DN = Diametro Normal (cm)

$$\text{BT} = \text{VT} * \text{FEB}$$

Donde:

BT = Biomasa Total (Kg)

VT = Volumen Total (m^3)

FEB = Factor de Expansión de Biomasa (Kg m^{-3})

Para calcular el Contenido de Carbono se tiene la siguiente ecuación:

$$\text{CC} = \text{FEC} * \text{V}$$

CC = Contenido de carbono total (Mg/ha)

FEC = Factor de expansión de carbono (Mg/m^3)

V = Volúmen por hectárea (m^3)



Para *Pinus montezumae* Lamb. Lamb. se utilizarán las ecuaciones obtenidas por Carrillo-Anzures *et al.* (2014):

$$B = 0.013DN^{3.0462}$$

Donde:

B = Biomasa (Kg)

DN = Diametro Normal (cm)

El contenido de carbono se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$C = 0.0065DN^{3.0484}$$

Donde:

C = Contenido de Carbono (Mg/ha)

DN = Diametro Normal (cm)

Para *Pinus patula* Schl. et Cham se utilizarán las ecuaciones obtenidas por Díaz-Franco *et. al* (2007):

$$B = 0.0357DN^{2.6916}$$

Donde:

B = Biomasa (Kg)

DN = Diámetro Normal (cm)



Para estimar el contenido de carbono la ecuación quedo expresada como:

$$CC = 0.021DN^{2.6451}$$

Donde:

CC = Contenido de Carbono (Mg/ha)

DN = Diámetro Normal (cm)

Para *Pinus pseudostrobus* Lindl. se utilizarán las ecuaciones obtenidas por Vásquez-Fabian *et al.* (2017):

$$VTAcc = 0.000264 * DN^{2.0603} * AT^{0.3521}$$

Donde:

VTAcc = Volumen total del árbol con corteza (m³)

DN = Diámetro Normal (cm)

AT = Altura Total (m)

Para estimar la biomasa se utilizará la siguiente ecuación:

$$B = 2.0639 * DN^{1.6915} * AT^{0.1153}$$

Donde:

B = Biomasa total aerea (Kg)

DN = Diámetro Normal (cm)

AT = Altura Total (m)



Bióxido de Carbono

El método presentado por Brown (1986), se basa en obtener los datos de biomasa (B), y tener un factor por tipo de bosque (F), que involucra el contenido de Carbono (CC) en la biomasa seca y la relación entre el peso de la molécula de CO₂ (44) y el peso atómico del carbono (12), de la siguiente manera:

$$\text{CO}_2 = \text{B} * (\text{CC} * 44 / 12)$$

CO₂ = Dióxido de carbono (Mg /ha)

B = Biomasa total (Kg)

CC = Contenido de Carbono (Mg/ha)

El factor de biomasa se puede considerar de 0.5 g de Carbono, es decir, el contenido de Carbono en la biomasa seca corresponde al 50%.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00045

Matrícula: 2161801361

Valoración de la captura de Bióxido de Carbono (CO₂) en coníferas, en el Parque estatal "El Faro", Tlalmanalco, Estado de México, México

En la Ciudad de México, se presentaron a las 16:00 horas del día 16 del mes de julio del año 2018 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. RICARDO ARTURO RUIZ PICOS
DR. JUAN GABRIEL RIVERA MARTINEZ
M. EN B.E. ENRIQUE MENDIETA MARQUEZ



Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretario el último, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS (ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE)

DE: TANYA LAURA ARCOS GUTIERREZ

TANYA LAURA ARCOS GUTIERREZ
ALUMNA

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

APROBAR

REVISÓ

LIC. JULIO CESAR DE LARA ISASSI
DIRECTOR DE SISTEMAS ESCOLARES

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CBI

DR. JESUS ALBERTO OCHOA TAPIA

PRESIDENTE

DR. RICARDO ARTURO RUIZ PICOS

VOCAL

DR. JUAN GABRIEL RIVERA MARTINEZ

SECRETARIO

M. EN B.E. ENRIQUE MENDIETA MARQUEZ