UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Región Poza Rica – Tuxpan

Maestría en Ciencias del Ambiente

TRABAJO DE INTERVENCIÓN

Almacenamiento de carbono aéreo y del suelo del bosque de oyamel del Parque Nacional "El Chico", Estado de Hidalgo.

PRESENTA:

Ing. Janet Rojas Barrera

Director

Dr. Ramón Razo Zárate

Codirector

Dr. Jorge Luis Chagoya Fuentes

Tuxpan, Veracruz Enero, 2019

Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL AMBIENTE

Revisión del Trabajo de Intervención de la alumna: **Ing. Janet Rojas Barrera**

JURADO EXAMINADOR

NOMBRE	FECHA	DICTAMEN	FIRMA
Stella Mary Amarilla Rodriguez	17/01/19	Aprobada	
Blanca Esther Raya Cruz	17/01/19	Aprobada	
Francisco Limón Salvador	17-01-19	Aprobada	

En la presente revisión se acordó que el Trabajo de Intervención denominado **Almacenamiento de carbono aéreo y del suelo del bosque de oyamel del Parque Nacional "El Chico", Estado de Hidalgo** que presenta la sustentante para obtener el Grado de Maestra, está terminado por lo que puede proceder a su inmediata impresión.

El presente trabajo de intervención titulado "Almacen de carbono aéreo y del suelo del bosque de oyamel del Parque Nacional "El Chico", Estado de Hidalgo" realizado por la C. Ing. Janet Rojas Barrera bajo la dirección del Dr. Ramón Razo Zárate y asesoría del consejo particular del Dr. Jorge Luis Chagoya Fuentes ha sido revisado y aprobado como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS DEL AMBIENTE

DR. RAMÓN RAZO ZÁRATE

DIRECTOR

DR. JORGE LUIS CHAGOYA FUENTES

ASESOR

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver. Enero 2019

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a mis padres principalmente al ser el sustento tanto de mi carrera universitaria como de mi vida. A mis hermanos, por el apoyo incondicional y las palabras de aliento en los momentos más difíciles y a todos aquellos que estuvieron a mi lado durante estos dos años.

Agradecimientos

Agradezco al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante estos dos años y a la Universidad Veracruzana por la formación dada.

Al Dr. Ramón Razo Zarate por dirigirme durante el proceso de investigación y al Dr. José Luis Chagoya Fuentes por sus enseñanzas y amistad.

Al Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por apoyarme con sus laboratorios para realizar mi investigación.

A mis revisores por su valiosa ayuda y consejos sobre el trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN 8

II. ANTECEDENTES 9

2.1 Gases de efecto invernadero 9
2.2 Dióxido de carbono 10
2.2.1 Ciclo de carbono 11
2.3. Bosques como sumideros de carbono 13
2.4. Áreas Naturales Protegidas como reservorios de carbono 14
III. OBJETIVOS 16

3.1. Objetivo general 16
3.2 Objetivos particulares 16
IV. ÁREA DE ESTUDIO 16

4.1. Descripción geográfica 17
4.2. Características físicas 18
4.3. Características biológicas 20
4.3.1 Flora 20
4.3.2 Fauna silvestre 21
V. MATERIAL Y MÉTODOS 22

5.1. Inventario forestal 22
5.1.1. Fase de campo 23
5.2. Estimación del contenido de carbono 28
5.2.1. Cálculo de biomasa y carbono de árboles 28
5.2.2. Cálculo de biomasa y carbono en arbustos y herbáceas 29
5.2.3 Calculo de carbono del suelo 30
5.3 Análisis estadístico 35
VI. RESULTADOS 35

6.1. Inventario forestal 35
6.2. Estimación de biomasa y carbono 36
6.2.1 Árboles 36

6.2.2 Arbustos 37
6.2.3 Herbáceas 38
6.2.4 Estimación total del carbono aéreo 39
6.2.5 Suelo 41
6.2.6 Estimación de carbono total 44
VII. DISCUSIÓN 47
7.1. Estimación de carbono 47
VIII. CONCLUSIÓN Y APLICACIÓN PRÁCTICA 50
IX. BIBLIOGRAFIA 51

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Fuentes y sumideros del dióxido de carbono (Fuente: Elaboración propia) 11
Figura 2. Ubicación geográfica del parque nacional El Chico (Fuente: Elaboración propia). 18
Figura 3. Mapa de distribución de los suelos del parque (Fuente: Elaboración propia). 19
Figura 4. Principales tipos de vegetación del Parque Nacional El Chico (Fuente: Elaboración propia). 21
Figura 5. Representación de la forma y tamaño de los sitios de muestreo. 23
Figura 6. Estructura del bosque para la cuantificación de biomasa 24
Figura 7. Toma de peso húmedo en el estrato arbustivo 24
Figura 8. Aspecto general del estrato herbáceo. 25
Figura 9. Pesado de muestras vegetales del estrato herbáceo. 25
Figura 10. Toma de muestra de materia orgánica. 26
Figura 11. Recolección del suelo contenido en el cuadrado de 1x1 m. 27
Figura 12. Medición de la profundidad del suelo. 27
Figura 13. Secado de muestras en bolsas de papel a una temperatura de 100°C por 48 hrs. 30
Figura 14. Molino tipo mortero con muestras de materia orgánica. 32
Figura 15. Pulverizado de la materia orgánica. 33
Figura 16. Tamizado de la muestra de suelo. 34
Figura 17. Muestras preparadas para el análisis en el laboratorio. 34
Figura 18. Comparación del contenido de carbono entre las exposiciones Este (E), Norte (N), Oeste (O), Sur (S), en las pendientes de 15% (P_15), 20% (P_20) y 25% (P_25). ... 37

Figura 19. Comparación del contenido de carbono de las exposiciones Este (E), Norte (N), Oeste (O) y Sur (S) de acuerdo a las pendientes del terreno. 38
Figura 20. Contenido del carbono por exposición y pendiente en herbáceas. 39
Figura 21. Diferencia significativa entre estratos. 41
Figura 22. Comparación de los contenidos de carbono entre las exposiciones Este (E), Norte (N), Oeste (O), Sur (S) y pendientes de 15% (P_15), 20% (P_20) y 25% (P_25). .. 42
Figura 23. Comparación de los contenidos de carbono entre pendientes y exposiciones. 43
Figura 24. Proporción porcentual del carbono total. 44
Figura 25. Esquema del contenido de carbono total del área conservada del parque. 46

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1. Coeficientes por especie para el cálculo de volumen 28
Cuadro 2. Número de individuos (ind) por especie con diámetros (D) y altura (H) promedio, mostrando mayor presencia de *Abies religiosa* vivo/muerto. 35
Cuadro 3. Cálculos de medias del carbono total aéreo por pendiente y exposición. 40
Cuadro 4. Resumen del contenido de carbono del suelo. 43
Cuadro 5. Valores de *P* en la prueba estadística ANOVA. 45
Cuadro 6. Comparación de los almacenes de carbono aéreo y en el suelo. 48

RESUMEN

Las áreas naturales protegidas son los sumideros de carbono más importantes de México, por su capacidad tanto aérea como del suelo para la acumulación del carbono. Sin embargo, al no recibir un manejo adecuado, estas áreas se han deteriorado y han ocasionado la liberación del CO_2. El presente trabajo evaluó la correlación del carbono aéreo (arbolado, arbusto, herbáceas) con el carbono del suelo (materia orgánica, horizonte O/H Y horizonte A) y la influencia de la pendiente y la orientación a través de coeficientes de carbono. Se usaron técnicas no destructivas y destructivas para el cálculo, para arboles se utilizó ecuaciones alometricas, mientras que para arbustos, herbáceas, materia orgánica y suelo, se uso la diferencia de pesos para el cálculo de la biomasa y posteriormente se empleó el Solids Toc Analyzer® para el calculo de coeficiente de carbono. El análisis estadístico arrojo que no existe diferencia significativa en la influencia de la pendiente y la exposición.

Palabras clave: Sumidero, carbono, pendiente, exposición, correlación.

I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es un fenómeno provocado por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, principalmente CO_2 (Gonzales *et al.,* 2003), el cual ha mostrado tendencias preocupantes a partir de la revolución industrial (Córner y Granados, 2001). Estos cambios se manifiestan con el aumento de la temperatura media anual, en los ciclos hidrológicos, disminución de los casquetes polares, aumento del nivel del mar, cambios en la precipitación y velocidad del viento entre otros (Gonzales *et al*., 2003).

Una manera de mitigar estos cambios, es la gestión de los recursos naturales en especial de los bosques (FAO, 2010), pues la biota contiene aproximadamente tres veces más carbono fijado que la atmosfera (Córner y Granados, 2001), una buena gestión asegura no solo la sobrevivencia de los ecosistemas además mejora sus funciones (FAO, 2010). Los bosques al ser un reservorio natural de carbono (Solano, 2016) representan una estrategia viable y de bajo costo para la recuperación del CO_2 (Peña *et al.,* 2011), para lograr esto se debe tener un manejo sustentable, conservación de áreas naturales protegidas, reforestación y forestación ya que puede significar un 25% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Manrique, 2012).

En México las áreas naturales protegidas y el manejo de los bosques son una opción viable para la captura de carbono, al ser una alternativa para el incremento de la producción de madera, productos no maderables, bancos de germoplasma, conservación de suelos entre otros (Ordoñez, 1999).

Conocer el carbono fijado en un ecosistema puede ayudar a tomar decisiones sobre la mejora del aprovechamiento de los bosques, de esta manera se optimiza la ganancia económica de los mercados y la continuación de los servicios ecosistémicos. En el caso de un área natural protegida la conservación ayuda a la captura y almacenamiento de carbono, sin embargo, la vegetación llega a un punto clímax donde ya no es posible una mayor absorción, por tal motivo es necesario un manejo sustentable de estas áreas, que garantice la permanencia de la vegetación.

II. ANTECEDENTES

2.1 Gases de efecto invernadero

El calentamiento global es un cambio en la temperatura media anual de la superficie terrestre, en la actualidad es un tema de suma importancia pues la temperatura en el planeta ha aumentado considerablemente, de acuerdo a la masa de la tierra y a la distancia que existe del sol se considera una temperatura media de -18 °C, pero gases como vapor de agua, CO_2, metano, óxido nitroso, fluorocarburos halogenados, entre otros, impiden que las radiaciones solares salgan de la atmosfera estimando una temperatura de hasta 33 °C (Gonzales *et al.,* 2003). Estos cambios se han registrado desde el siglo XX con el aumento de los gases del efecto invernadero (GEI), estos existen de forma natural en la atmosfera como el nitrógeno (78.3%), oxígeno (21.0%), argón (0.3%), dióxido de carbono (0.03%) entre otros, sin embargo, se estima que el dióxido de carbono (CO_2) es el responsable del 71.5% del efecto invernadero (Ordoñez, 1999). En 1997 se llegó a un acuerdo para reducir

estas emisiones llamado el protocolo de Kioto, y se creó el concepto de sumidero de carbono (Solano, 2016).

Entre los cambios que se han visto afectados por los GEI son: los ciclos hidrológicos y los ciclos biogeoquímicos, la disminución de los casquetes polares y con ello el aumento de los niveles del agua en los océanos (Gonzáles *et al.*, 2003).

2.2 Dióxido de carbono

Las emisiones de dióxido de carbono se producen por diferentes factores como las actividades antropogénicas, la industria y el consumo de combustibles fósiles principalmente resultado del incremento económico de los países tercermundistas especialmente (Schuschny, 2007). En América Latina los principales emisores de CO_2 para 2005 son Antillas Neerlandesas, Trinidad y Tobago y la Bahamas, mientras que en los primeros lugares en consumidores de combustibles fósiles son México, Brasil y Venezuela. En la actualidad Las Bahamas y Trinidad y Tobago han aumentado sus emisiones de CO_2, de esta manera continúan encabezando la lista junto con Curazao y Sint Maarten, mientras que los consumidores de combustibles fósiles que encabezan la lista son Trinidad y Tobago, Curacao y México (Banco Mundial, 2017). Para la disminución de estas emisiones se identifican las principales fuentes (flujo en sentido inverso, desde el sistema a la atmósfera) y sumideros (se refiere a la existencia de un flujo neto de carbono desde la atmósfera al sistema) (Gonzáles *et al*., 2003; Pardos, 2010) como se presenta en Figura 1, no obstante a través de la fotosíntesis el CO_2 es absorbido por las plantas para almacenarlo en

sus diferentes estructuras y en el suelo ocupando un 69.8% del total (Martínez *et al.,* 2008).

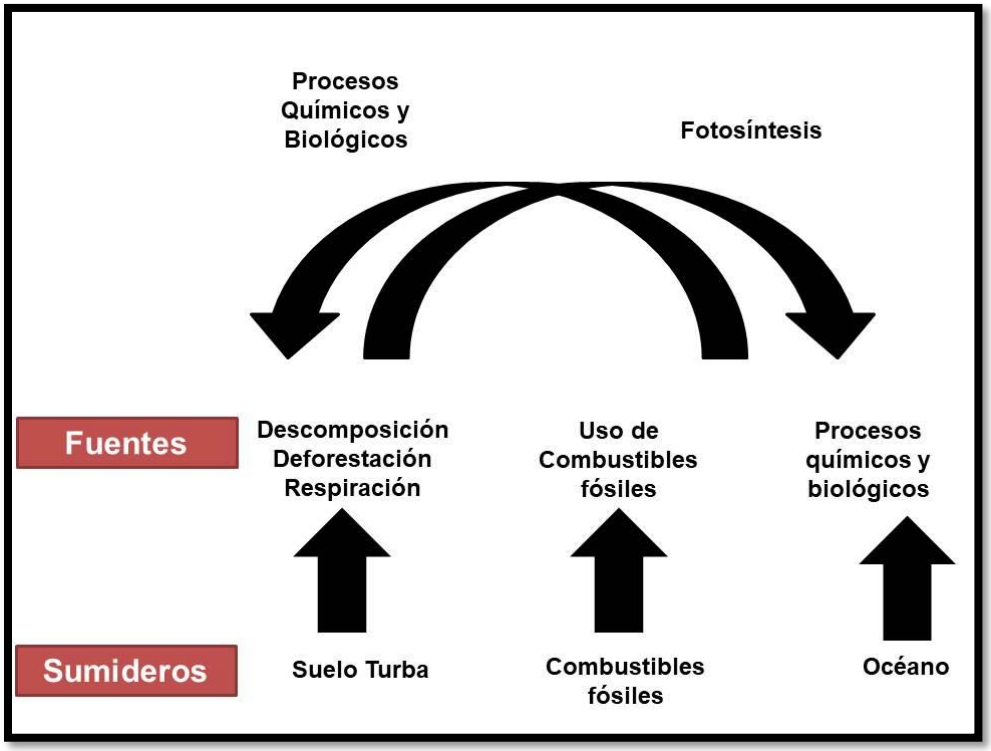

Figura 1. Fuentes y sumideros del dióxido de carbono (Fuente: Elaboración propia)

Los sumideros no solo almacenan carbono si no que a través de la respiración, actividades antropogénicas, descomposición y procesos químicos entre otros, es liberado a la atmosfera para continuar con su ciclo natural (FCPF, 2015).

2.2.1 Ciclo de carbono

El carbono es un elemento que se encuentra de forma natural en el planeta además de ser parte fundamental de los compuestos orgánicos, se encuentra en la atmosfera, océanos, vegetación y en el suelo. El mayor sumidero de carbono se

localiza en el océano con 38,000 Gt, seguido por el suelo con 1500 Gt, atmosfera con 750 Gt y las plantas con 560 Gt (ONU, 2002; Solano, 2016).

Para una mejor comprensión se enlistan las fases de la fijación de carbono en el suelo (Smith *et al*., 1993; Schimel, 1995):

1. En primer lugar se realiza la fijación del anhídrido carbónico atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis.
2. Posteriormente el anhídrido carbónico y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno en forma simultánea.
3. Parte del carbohidrato se consume directamente para suministrar energía a la planta, y el anhídrido carbónico así formado se libera a través de sus hojas o de sus raíces.
4. Otra parte es consumida por los animales, que también respiran y liberan anhídrido carbónico.
5. Al morir las plantas y los animales son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en anhídrido carbónico y regrese a la atmosfera.
6. Cuando los organismos vegetales son comprimidos por deposición, no son atacados por las bacterias, sino que sufren una serie de cambios químicos para formar turba, luego carbón pardo y finalmente carbón.

El carbón se puede almacenar de diferentes maneras, entre ellas, en la cobertura terrestre. El carbono en la vegetación es la suma del carbono contenido en la biomasa aérea y el carbono contenido en la biomasa de las raíces; carbono en

descomposición que es contenido en la materia orgánica que se encuentra en proceso de descomposición y carbono en el suelo que es el contenido en las capas que conforman el suelo forestal (Benjamín *et al.,* 2001).

2.3. Bosques como sumideros de carbono

Los bosques forman parte importante del almacenamiento de carbono pues funcionan como reservorio, no solo en la parte aérea sino también en el suelo (Chazdon *et al.,* 2007). A nivel mundial los bosques contienen un 80% del carbono presente en la superficie terrestre y un 40% del carbono del suelo (Buendia, 2011), de ese 80% el 70% pertenece a la biomasa aérea (Schlegel, 2001).

Los bosques tropicales son los mayores reservorios de carbono seguidos de los bosques templados (Peña *et al.,* 2011), por la diversidad de especies de los ecosistemas. Por eso son importantes las estrategias de conservación y los proyectos de reforestación para recuperar el dióxido de carbono y retenerlo por los próximos 100 años (IPCC, 1995).

En la vegetación el carbono está en combinación con la biomasa viva y muerta (materia orgánica o en descomposición), cuando se encuentra fuera de la tierra el carbono es almacenado en pocas cantidades en la madera que es extraída del bosque y usada para la construcción, en resina, semillas, tubérculos entre otros. Para conocer la cantidad de carbono acumulado o stock como también se conoce, se debe medir la biomasa para su posterior estimación (Dávalos *et al*., 2008), a través del monitoreo e inventarios forestales. Se ha observado un aumento

considerable de la biomasa en los primeros 20 años para bosques secundarios y 25 a 30 años para bosques maduros (Lapeyre *et al.,* 2004; Peña *et al*., 2011).

El carbono contenido en la materia orgánica está relacionado con el tipo de suelo constituyendo más del 80% de materia orgánica del suelo, esta entra en mayor dilución en contacto con suelos de texturas finas (Matus y Maire, 2000). Los suelos con mayor concentración de carbono son los Andosoles después de los Histosóles lo cual está determinado por variables mineralógicas y climáticas, en bosques templados los flujos de carbono están escasamente estudiados pues la literatura está basada principalmente en Andosoles (Galicia *et al*., 2015).

El contenido de carbono del suelo no solo depende del tipo de suelo o de sus características físico-químicas, también se ve influenciado por el tipo de vegetación.

2.4. Áreas Naturales Protegidas como reservorios de carbono

Los bosques naturales son una de las mejores opciones para el secuestro de carbono, además de proveer servicios ambientales, productos maderables y no maderables entre otros (Ordoñez, 1999), sin embargo, existen Áreas Naturales Protegidas (ANP) que de acuerdo al estatus de conservación al que están sujetas tienen regímenes como de protección, conservación, restauración y desarrollo (CONANP, 2016). Las ANP proveen de servicios ambientales, como alimento, sustento, belleza escénica, recreación, calidad de aire, recarga de mantos acuíferos, hábitat entre otros (CONANP, 2015).

Los bosques conservados de oyamel almacenan de 45-80% del carbono orgánico en los primeros centímetros del suelo [horizonte A] (Pérez-Ramírez *et al.,* 2013), dependiendo de factores como: origen del material parental, características geomórficas, composición mineral del suelo, textura, profundidad, densidad aparente, erosión, deforestación, uso de suelo (Fisher, 2000) y la fragmentación del bosque, tiene repercusiones en el stock de carbono (Chaplin-Kramer *et al.,* 2015).

Dado que el objetivo principal de las áreas naturales protegidas es la conservación de la diversidad vegetal, no es posible realizar una estimación de biomasa y captura de carbono a través de un método destructivo, por lo cual se han implementado ecuaciones alométricas para árboles, arbustos y herbáceas, con base al diámetro de los árboles y sus coeficientes de forma y densidad, mientras que para los arbustos y hierbas se toma en cuenta el peso húmedo y el peso seco para sus estimaciones de biomasa y posterior cálculo de carbono.

En un estudio realizado en el Parque Nacional El Chico, se reportó que la especie con mayor coeficiente de carbono fué el *Juniperus montícola*, mientras que *Abies religiosa* resulta la que tiene mayor capacidad de almacenamiento (Razo, 2015) en sus troncos, seguido de ramas, raíces y finalmente las hojas, por su longevidad, tamaño y la dominancia de la especie (Gayoso y Guerra, 2005; Rodríguez, 2015). Debido a que El Parque Nacional “El Chico” es un área natural protegida en la que se pretende realizar una recategorización que permita el manejo y renovación del bosque, ya que muchas áreas se encuentran sobremaduras, afectadas con incendios constantes, plagas y enfermedades, con este estudio pretende aportar

información sobre la captura de carbono por la vegetación y el suelo y la influencia de la pendiente y exposición del terreno, para proponer estrategias de manejo y conservación del bosque que permitan aprovechar el potencial del bosque en la generación de este servicio ambiental.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Estudiar la influencia de la pendiente y la exposición del terreno de un bosque de oyamel en el contenido de carbono aéreo y del suelo en el Parque Nacional “El Chico”.

3.2 Objetivos particulares

- Efectuar un inventario forestal en el área de conservación del parque con tipos de suelo similares.
- Analizar los contenidos de carbono en los árboles, arbustos, herbáceas, horizonte o-H y el horizonte A.
- Correlacionar los contenidos de carbono aéreo y del suelo con las pendientes y exposiciones del terreno.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

4.1. Descripción geográfica

El Parque Nacional El Chico se localiza en el estado de Hidalgo abarcando el municipio de Mineral del Chico, Pachuca y Real del Monte como se observa en la figura 2. Geográficamente se ubica entre las coordenadas extremas de los 20°10’10’’ a 20°13’25’’ latitud Norte y los 98°41’50’’a 98°46’02’’ de longitud Oeste, cuenta con una superficie de 2,739 ha, corresponde al extremo occidental del sistema orográfico Sierra de Pachuca, incluido en la porción austral del Eje Neovolcánico Transversal. Colinda al Noroeste con el pueblo El Puente, al Norte con ejidos de San José Zoquital, al Noroeste con ejidos de la ranchería Carboneras, al Suroeste con la comunidad de La Estanzuela, al Sur con la presa Jaramillo y pueblo de El Cerezo, y al Sureste con el ejido definitivo de Pueblo Nuevo (CONANP, 2005).

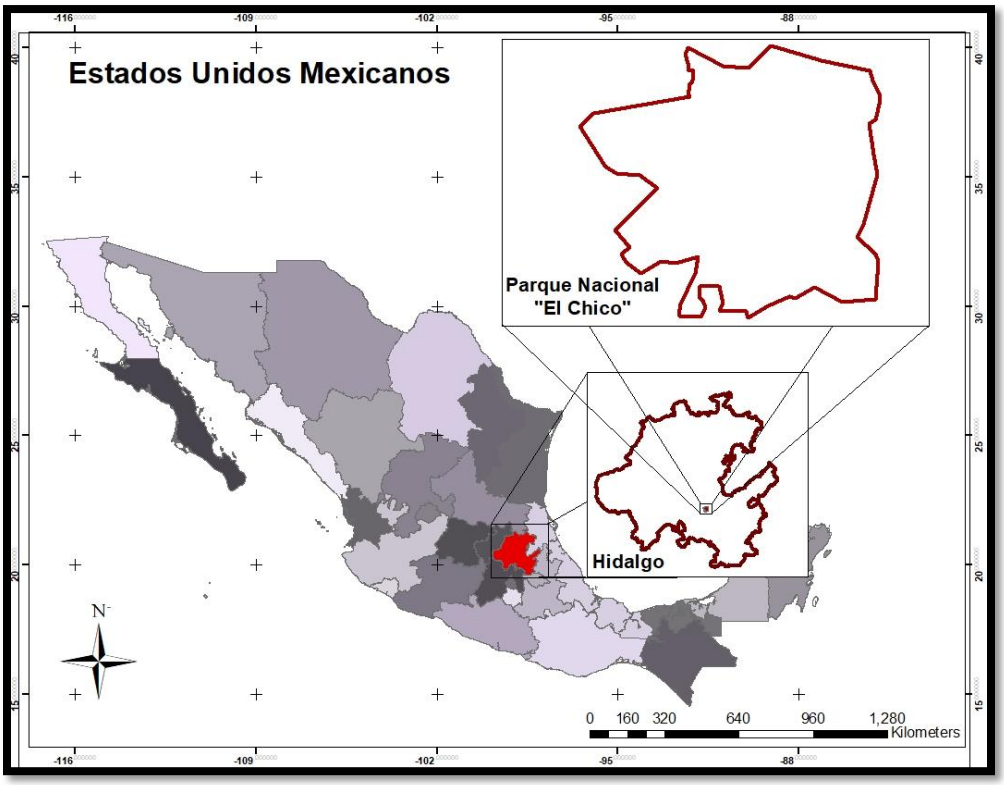

Figura 2. Ubicación geográfica del parque nacional El Chico (Fuente: Elaboración propia).

4.2. Características físicas

El parque cuenta con grandes formaciones rocosas que van de los 2500 a los 3090 msnm además de contar con una concentración densa de barrancos y planicies intermontanas al sur del parque. Las abruptas pendientes y escarpadas que tiene el parque es lo que le da su característica vista al turismo, entre estas destacan Las Ventanas, Peña cercada y Peña del cuervo entre otras (CONANP, 2005).

Sus suelos son de origen volcánico con propiedades físicas y químicas bien definidas de acuerdo a sus depósitos, relieve e influencia climática, clasificándolos de acuerdo a la FAO enlas siguientes asociaciones: Andosol húmico - Cambisol

húmico, Cambisol húmico – Andosol ócrico – Litosol, Feozem háplico - Cambisol húmico, Cambisol húmico – Regosol eútrico, Andosol vítrico - Cambisol húmico y Feozem háplico (CONANP, 2005), que para fines de este estudio se enfocaron en la asociación Andosol húmico - Cambisol húmico.

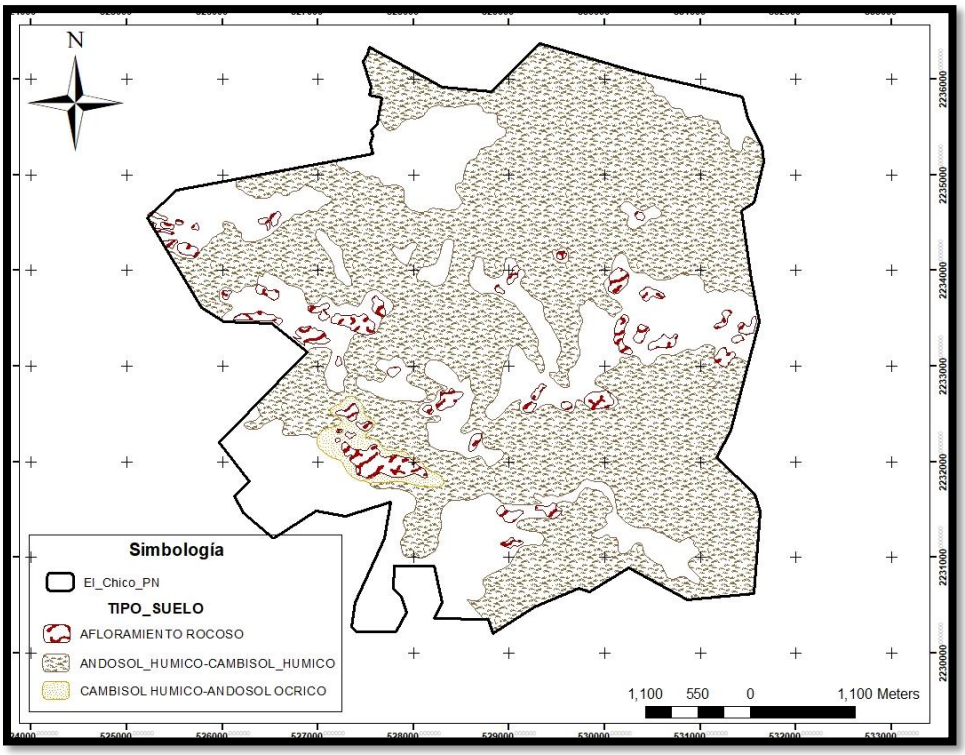

Figura 3. Mapa de distribución de los suelos del parque (Fuente: Elaboración propia).

En cuanto a los sistemas hidrológicos el parque se encuentra en las cuencas de Rio Pánuco y Valle de México. De acuerdo al sistema de clasificación climática de Kôopen, el clima del área de estudio corresponde a un templado-subhúmedo con verano fresco y largo; temperatura media anual entre 12 y 18°C; temperatura media del mes más frío entre -3 y 18°C, y la del mes más caliente superior a 26.5°C. Régimen de lluvias de verano con precipitación media anual de 1386 mm y un

porcentaje de precipitación invernal inferior a 5% con poca oscilación térmica (CONANP, 2005).

4.3. Características biológicas

4.3.1 Flora

En el área del Parque Nacional El Chico, se han identificado 10 tipos de vegetación de los cuales destaca el bosque de oyamel y sus diferentes asociaciones con bosque de pino y encino, además de encontrar bosque de cedro, táscate y pastizales en el área como se observa en la figura 4. Dentro de estos tipos de vegetación se encuentran 545 especies destacando familias como: Compositae, Gramíneae, Labiatae, Fagaceae, Caryophyllaceae, Leguminosae, Rosaceae, Umbelliferae, Scrophullariaceae, Cyperaceae, Orchidaceae y Solanaceae (CONANP, 2005).

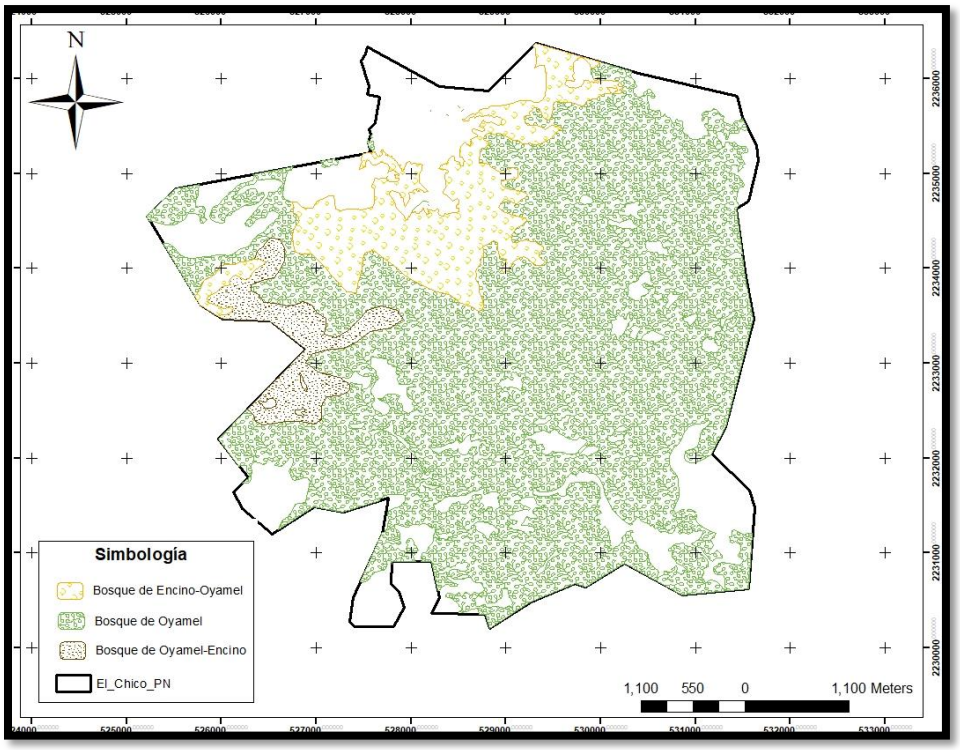

Figura 4. Principales tipos de vegetación del Parque Nacional El Chico (Fuente: Elaboración propia).

4.3.2 Fauna silvestre

De acuerdo con el programa de manejo del parque la fauna silvestre está representada por reptiles y anfibios, además de mamíferos y aves. Entre los más importantes están las especies en peligro de extinción que pertenecen principalmente a los reptiles y anfibios con 14 especies como: las ranas *Hyla plicata*, *H. robertsorum*, el ajolote *Ambystoma velasci* y las salamandras *Chiropterotriton dimidiatus, Ch. multidentatus, Pseudoeurycea belli* y *P. cephalica*. Mientras que entre reptiles se encuentran los escorpiones *Abronia taeniata* y *Barisia imbricata*, las lagartijas *Phrynosoma orbiculare* y *Sceloporus grammicus* y las culebras *Thamnophis cyrtopsis, T. scalaris* y *T. scaliger* (CONANP, 2005).

V. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Inventario forestal

Se delimitó un área con características similares en cuanto al tipo de suelo, tipo de vegetación, características del terreno y zonificación del parque. En dicha área se realizó un inventario forestal considerando 24 sitios distribuidos por estratos de manera sistemática en el área de conservación del parque tomando como referencia el tipo de suelo *Andosol humico- Cambisol humico* y la vegetación predominante de bosque de oyamel. Los sitios contaron con pendientes de 15, 20 y 25 % además de exposiciones al Norte, Sur, Este y Oeste, teniendo una forma circular y siguiendo la metodología para su correcto levantamiento en campo con un radio de 17.84 original y compensando de acuerdo a la pendiente del terreno (Medina, 1983) para obtener un área de 1000 m^2 en los cuales se identificaron los diferentes estratos de árboles, arbustos y herbáceas. En el caso de los árboles se utilizaron los sitios circulares, para los arbusto se empleó un cuadrante por sitio de 5x5 m al igual que un cuadrante de 1x1 m para herbáceas (Mostacedo y Fredericksen, 2000), este cuadrante se usó de igual manera para la obtención de datos de materia orgánica y suelo. A continuación se muestra de forma gráfica el esquema de muestreo (Figura 5).

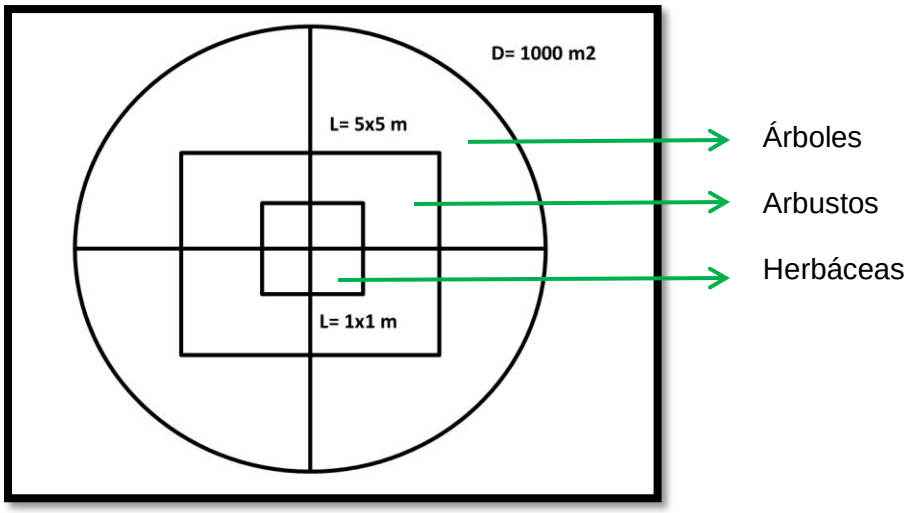

Figura 5. Representación de la forma y tamaño de los sitios de muestreo.

5.1.1. Fase de campo

Durante la realización del inventario se obtuvieron muestras y datos dasométricos de árboles. Para el arbolado adulto se utilizaron los sitios circulares dónde se identificó: especie, el diámetro el cual se midió con una forcípula forestal de aluminio de 80 cm y altura con ayuda de una pistola Haga, con estos datos se obtuvo el volumen y biomasa de los árboles.

Para la toma de información sobre los arbustos se delimitó un cuadrante de 5x5 m en el cual se cortaron y dimensionaron todos los arbustos existentes y se pesaron en una báscula portátil que se colocó en un área plana y de esta biomasa se obtuvo una muestra aproximada de 0.500 kg para la cuantificación del peso seco en laboratorio.

Figura 6. Estructura del bosque para la cuantificación de biomasa

Figura 7. Toma de peso húmedo en el estrato arbustivo

Para la cuantificación del peso húmedo de la biomasa del estrato herbáceo en los cuadrados de 1x1 m se pesó el total de hierbas del cuadrante para su peso en

húmedo, posteriormente se tomó una muestra de aproximadamente 0.500 kg para el análisis en laboratorio.

Figura 8. Aspecto general del estrato herbáceo.

Figura 9. Pesado de muestras vegetales del estrato herbáceo.

Una vez retirada la vegetación se procedió con el pesado de la materia orgánica del cuadrante con ayuda de una pala para la toma de muestra de aproximadamente 0.500 kg para la determinación del peso seco en laboratorio.

Figura 10. Toma de muestra de materia orgánica.

Para la medición del peso húmedo del suelo se pesó el sustrato contenido en el cuadrante de 1x1 m a una profundidad aproximada de 7 cm y se tomó una muestra de un kg para su análisis en laboratorio.

Figura 11. Recolección del suelo contenido en el cuadrado de 1x1 m.

Figura 12. Medición de la profundidad del suelo.

5.2. Estimación del contenido de carbono

5.2.1. Cálculo de biomasa y carbono de árboles

Se obtuvo el volumen de los árboles a partir de las ecuaciones generadas por un sistema biométrico de dos entradas (diámetro y altura), estas ecuaciones permitieron estimar el volumen con corteza, ramas y fuste. El modelo generado para la las especies de interés es Schumacher- Hall (Alométricas) con la expresión $V= b_0*d^{b1}*h^{b2}$, utilizando los parámetros siguientes para cada especie (cuadro 1) (Vargas-Larreta, 2013):

Cuadro 1. Coeficientes por especie para el cálculo de volumen

Especie	tarifas de volumen			
	a_0	a_1	a_2	b_0
Abies religiosa	3.3489E-05	1.56800226	1.47852891	2.6566E-05
Juniperus sp.	0.00014005	1.61560953	0.93755328	0.00011655
Arbutus sp.	6.1974E-05	1.82154433	0.96123679	0.00013341

Posteriormente para el cálculo de la biomasa y contenido de carbono se utilizó la siguiente formula:

$$CC= V*Dn*Cc$$

Dónde:

CC= contenido de carbono (Kg/m^3)

V= volumen m^3

Dn= densidad de la madera (de acuerdo a la especie) (kg/m^3) (Goche *et. al.,* 2000)

Cc= coeficiente de carbono por especie (Razo, 2013)

Este resultado de extrapoló a toneladas por hectárea

5.2.2. Cálculo de biomasa y carbono en arbustos y herbáceas

Las muestras obtenidas en campo se colocaron en la estufa de secado marca GRIEVE a 100°C durante 48 horas, a continuación se pesaron nuevamente para obtener el contenido de humedad a través de la siguiente formula:

$$Ch= ((PH-PS)/ PH) *100$$

Dónde:

Ch= contenido de humedad (%)

PH= peso húmedo (kg)

PS= peso seco (kg)

Para el cálculo de la biomasa y contenido de carbono en arbustos se utilizó la siguiente formula:

$$Y= (((Ptm- (Ptm*Ch))) * 10000)/ 25$$

Dónde:

Y= biomasa (kg/ ha)

Ptm= Peso total de la muestra del cuadrante 5x5 m. (kg)

Ch= contenido de humedad

Finalmente para la obtención del contenido de carbono se multiplicó el coeficiente promedio de carbono para arbustos (0.45) por la biomasa. En el caso de las herbáceas se aplicó la misma fórmula con la excepción de la división entre 25, ya que los sitios para estas especies son de 1x1 m, posteriormente se multiplico por el

coeficiente de carbono de 0.43 estimado para las herbáceas del Parque Nacional “El Chico” (Razo, 2013).

Figura 13. Secado de muestras en bolsas de papel a una temperatura de 100°C por 48 hrs.

5.2.3 Calculo de carbono del suelo

Horizontes O y H

Una vez retiradas las herbáceas se pesó la materia orgánica de suelo y se tomó la muestra para el posterior análisis en el laboratorio, la cual fue secada a 100°C por 48 horas para la obtención de peso seco, el contenido de humedad de la muestra y para el cálculo del coeficiente carbono.

$$Y= (((Ptm- (Ptm*Ch))) * 10000)$$

Dónde:

Y= biomasa (kg/ ha)

Ptm= Peso total de la muestra del cuadrante 1x1 m.

Ch= contenido de humedad

Una vez estimada la biomasa se obtiene una submuestra para el análisis del coeficiente de carbono, esta submuestra fue una mezcla al azar, pulverizada en un molino tipo mortero para su posterior análisis en el Solids Toc Analyzer® a través de la combustión de la muestra y mediante una cámara de rayos infrarrojos que detectan las partículas de CO_2.

Figura 14. Molino tipo mortero con muestras de materia orgánica.

Figura 15. Pulverizado de la materia orgánica.

Calculo de carbono del horizonte A

Las muestras que se tomaron en campo, fueron llevadas al laboratorio para su secado y posterior cálculo de densidad aparente. Para ello se utilizó la diferencia de pesos peso húmedo menos peso seco y se multiplicó por el coeficiente de carbono de 0.12 obtenido a través de la pulverización en un molino tipo mortero, inmediatamente se tamizo y se etiqueto para el análisis de carbono en el Solids Toc Analyzer® a través de la combustión de la muestra y mediante una cámara de rayos infrarrojos que detectan las partículas de CO_2.

Figura 16. Tamizado de la muestra de suelo.

Figura 17. Muestras preparadas para el análisis en el laboratorio.

5.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se realizó un ANOVA para las exposiciones y para las pendientes con 12 y 8 repeticiones respectivamente, posteriormente se realizará una prueba de Tukey para la relación entre los mismos.

VI. RESULTADOS

6.1. Inventario forestal

En el inventario forestal se encontraron más de 500 árboles, en su mayoría de la especie de *Abies religiosa* con categorías diamétricas desde cinco hasta 90 centímetros. De acuerdo a la densidad, se obtuvo que la mayoría están entre los 5 a los 20 centímetros y alturas de 5 a 35 metros, además se encontraban en pendientes de 15% con exposición Oeste.

Cabe resaltar, que en las categorías de 25 a 70 centímetros de diámetro el número de individuos se mantiene constante en este intervalo con 20 árboles aproximadamente y los cuales tienen alturas hasta de 45 metros. Adicionalmente, existen arboles con diámetros de hasta 90 centímetros pero en menor número, a continuación en el cuadro 2 se muestra el resumen de las 6 especies encontradas con sus diámetros y alturas promedio.

Cuadro 2. Número de individuos (ind) por especie con diámetros (D) y altura (H) promedio, mostrando mayor presencia de *Abies religiosa* vivo/muerto.

Especie	Ind	D (cm)	H (m)
Abies religiosa	503	26	22
Juniperus monticola	23	25	21

Abies religiosa (muertos)	22	26	22
Prunus serotina	10	25	21
Alnus acuminata.	4	30	20
Quercus spp.	4	25	21
Arbutus xalapensis	4	24	21
Total	**570**	**25.8**	**21.1**

6.2. Estimación de biomasa y carbono

6.2.1 Árboles

El contenido de carbono en árboles sin tomar en cuenta las combinaciones (pendiente- exposición) es de 60.35 ton/ha. Sin embargo, en la exposición Este con pendiente del 15% se acumuló hasta 94.55 ton/ha, seguido por la Norte y pendiente del 20% con 79.34 ton/ha, mientras que los valores mínimos están en la exposición Sur con pendiente del 15% y exposición Oeste con pendiente del 25% con valores de 30.22 y 38.45 ton/ha, respectivamente (figura 19).

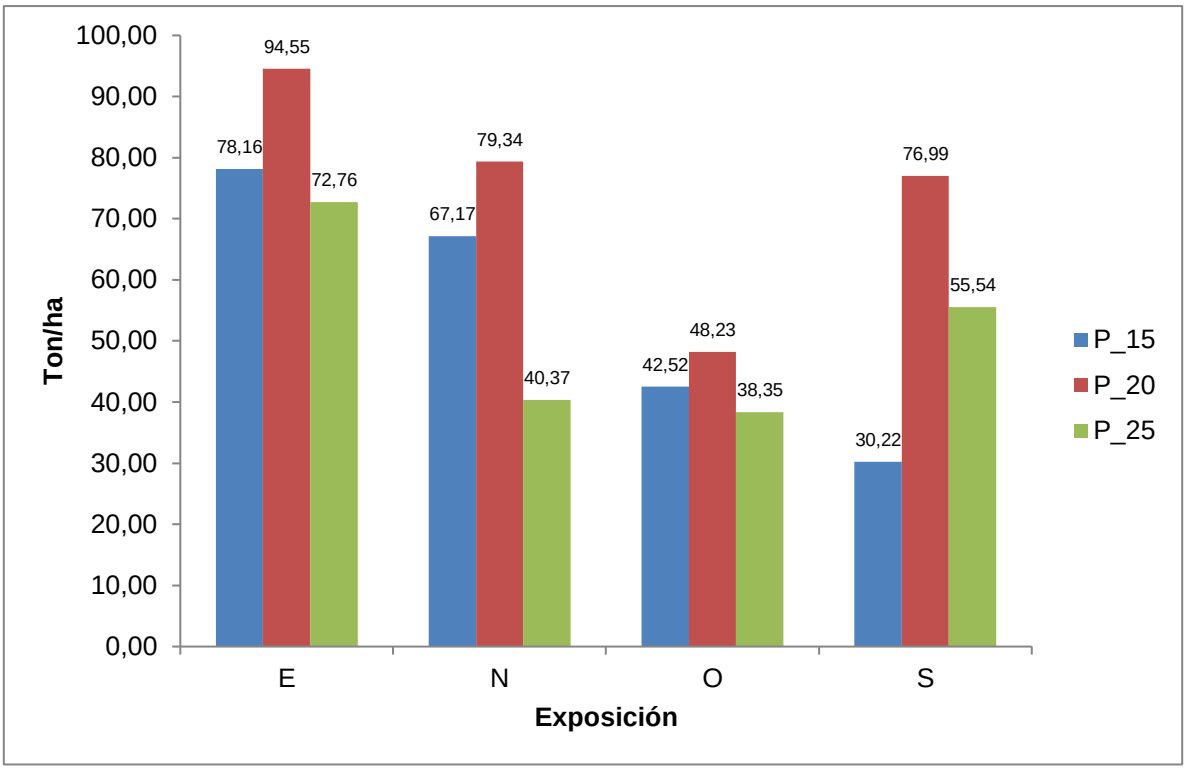

Figura 18. Comparación del contenido de carbono entre las exposiciones Este (E), Norte (N), Oeste (O), Sur (S), en las pendientes de 15% (P_15), 20% (P_20) y 25% (P_25).

6.2.2 Arbustos

El contenido promedio de carbono en el estrato arbustivo fue de 0.55 ton/ha. Sin embargo, la exposición y la pendiente no tuvieron un efecto significativo en la acumulación de carbono. Por ejemplo: la pendiente del 15% con exposición Este acumuló un total de 0.94 ton/ha, seguido de la pendiente del 20% y exposición Oeste con 0.89 ton/ha (figura 20).

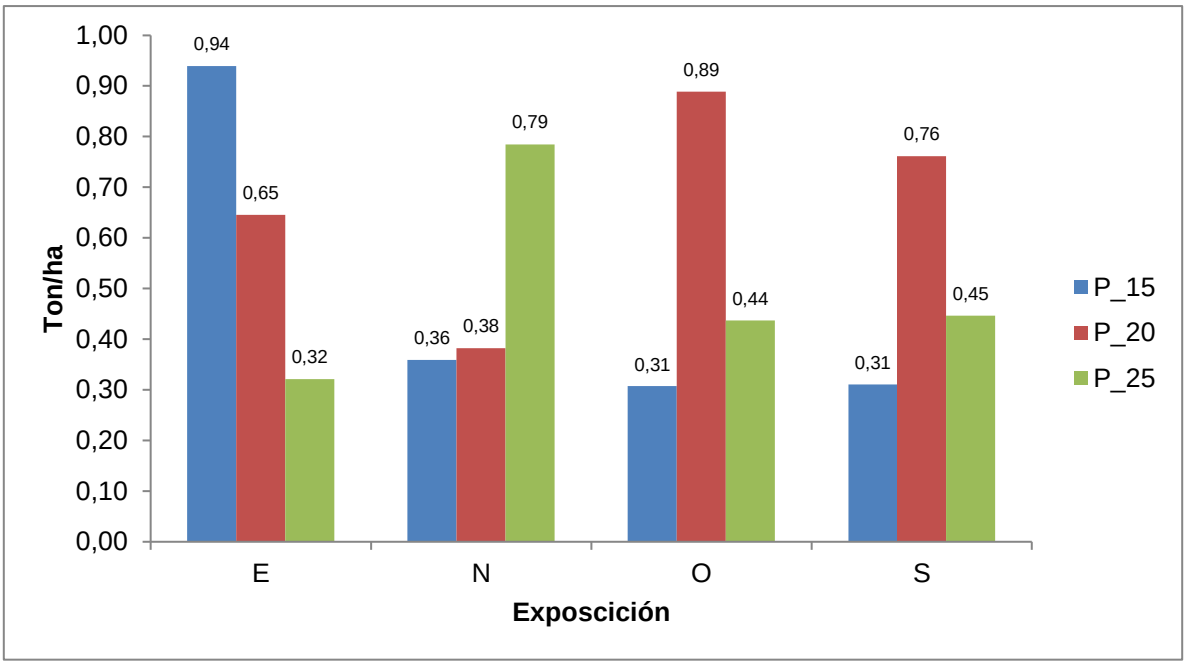

Figura 19. Comparación del contenido de carbono de las exposiciones Este (E), Norte (N), Oeste (O) y Sur (S) de acuerdo a las pendientes del terreno.

6.2.3 Herbáceas

Debido a la ausencia de arbustos en la mayoría de las áreas estudiadas, la biomasa y en consecuencia el contenido de carbono fue mayor en las plantas herbáceas, las cuales se presentan en mayores densidades en el sotobosque. Por ejemplo; existen sitios donde el promedio oscila en una tonelada por hectárea, y otros dónde se sobrepasan las 2 ton/ha. En cuanto a su distribución por exposición y pendiente, el mayor contenido de carbono retenido lo tiene la exposición Sur con 25% de pendiente con un promedio de 2.13 ton/ha, mientras que la exposición Norte con pendiente de 20% solo tiene 0.63 ton/ha. En cuanto a la acumulación por exposición, la mayor concentración de carbono se encuentra al Sur con 1.54

toneladas y la menor al Norte con 0.96 ton/ha. En la figura 21 se observan los totales de carbono por pendiente y exposición.

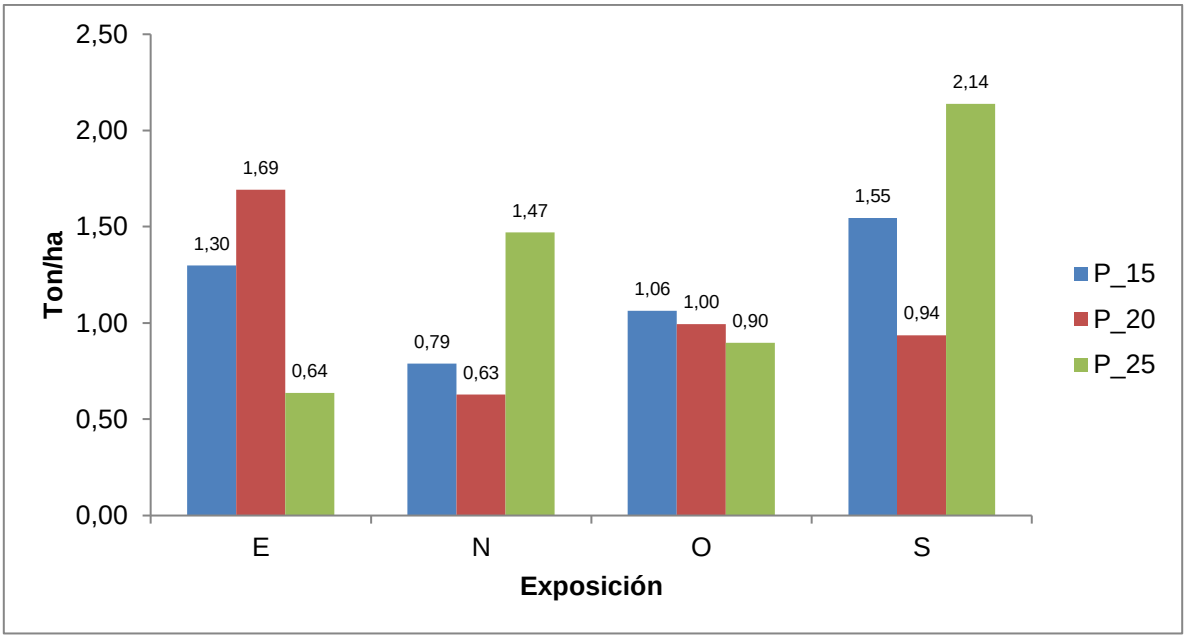

Figura 20. Contenido del carbono por exposición y pendiente en herbáceas.

6.2.4 Estimación total del carbono aéreo

Tomando en cuenta los tres diferentes estratos (árboles, arbustos y herbáceas), el carbono total aéreo es de 62.07 ton/ha. Dónde, la mayor acumulación de carbono se obtuvo en el estrato arbóreo al superar las 90 ton/ha, seguido del estrato herbáceo con 1.17 ton/ha y finalmente el estrato arbustivo que tuvo valores de 0.55 ton/ha.

En cuanto a la exposición y pendiente se registró que la exposición Este con 20 % de pendiente cuenta con una acumulación de carbono aéreo de 98.89 ton/ha. Sin embargo, al no tomar en cuenta el porcentaje de pendiente la exposición Este

acumuló en promedio 83.67 ton/ha, en contraste con la exposición Oeste que solamente acumuló 44.56 ton/ha.

A continuación en el cuadro 2 se presenta los promedios de carbono de todos los estratos y pendientes.

Cuadro 3. Cálculos de medias del carbono total aéreo por pendiente y exposición.

	Carbono aéreo ton/ha			**Total de carbono**
	árboles	arbustos	herbáceas	
Pendiente				
15%	54.52	0.48	1.17	**56.17**
20%	74.78	0.67	1.06	**76.51**
25%	51.76	0.50	1.29	**53.54**
Exposición				
Este	81.83	1.21	0.64	**83.67**
Norte	62.29	0.96	0.51	**63.77**
Oeste	43.03	0.99	0.54	**44.56**
Sur	54.25	1.54	0.51	**56.30**

Cabe resaltar que el análisis de varianza de las pendientes y exposiciones, indicó que no existen diferencias estadísticas significativas (Pr>0.01). En contraste entre los estratos (árboles, arbustos, herbáceas) si se encontraron diferencias estadísticas significativas (Pr≤0.01) (figura 23).

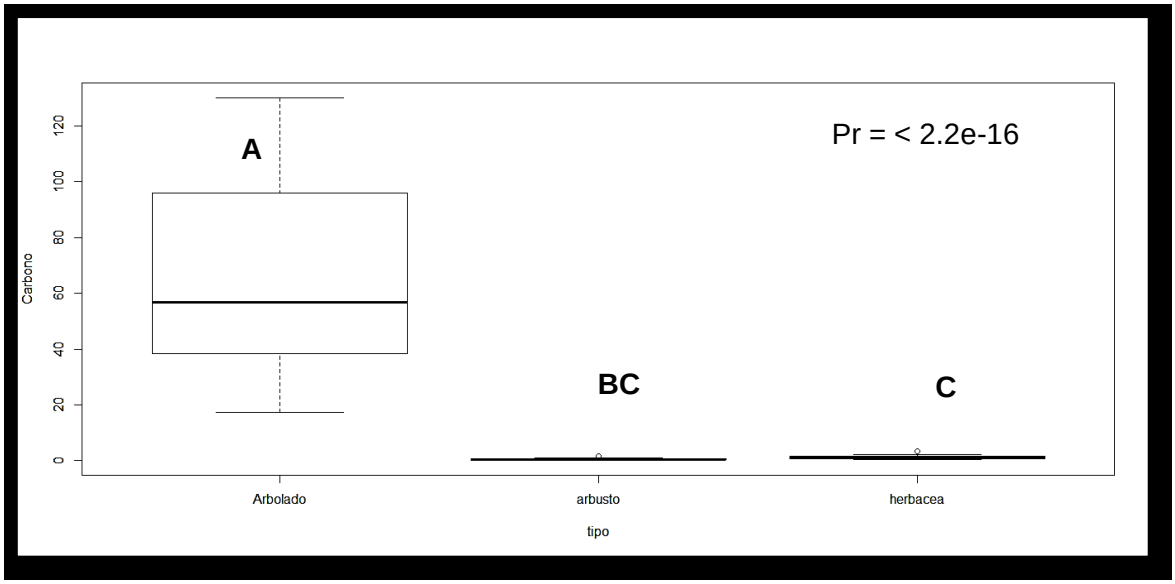

Figura 21. Diferencia significativa entre estratos.

6.2.5 <u>Suelo</u>

Horizontes O y H

El análisis de carbono para el Horizonte O y H en laboratorio arrojó un coeficiente de 0.46, el cual se multiplicó por la biomasa total y se obtuvo una acumulación de carbono de 19.4 ton/ha. Adicionalmente, el 25% de pendiente acumuló la mayor concentración de carbono con 24.3 ton/ha, mientras que la del 15% acumuló 15.2 ton/ha. Por otro lado la exposición al Sur obtuvo una mayor concentración de carbono con 23.8 ton/ha y la Oeste presento la menor acumulación con 13.8 ton/ha (Figura 24).

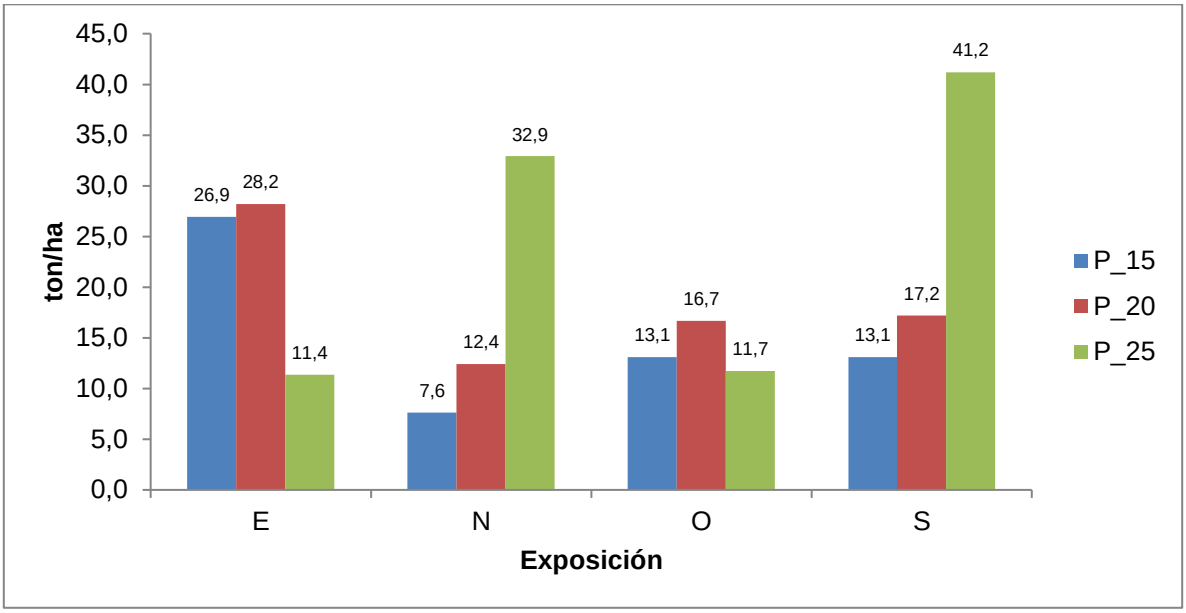

Figura 22. Comparación de los contenidos de carbono entre las exposiciones Este (E), Norte (N), Oeste (O), Sur (S) y pendientes de 15% (P_15), 20% (P_20) y 25% (P_25).

Carbono del horizonte A

El coeficiente de carbono calculado para el Horizonte A es de 0.12 que posteriormente se utilizó para el cálculo de carbono en el parque nacional con 42.89 ton/ha aproximadamente. La pendiente con mayor acumulación es en 15% con 56.22 ton/ha, mientras que la exposición con mayor almacenamiento es la Norte con 47.94 ton/ha y menor con 38.76 ton/ha en exposición Oeste.

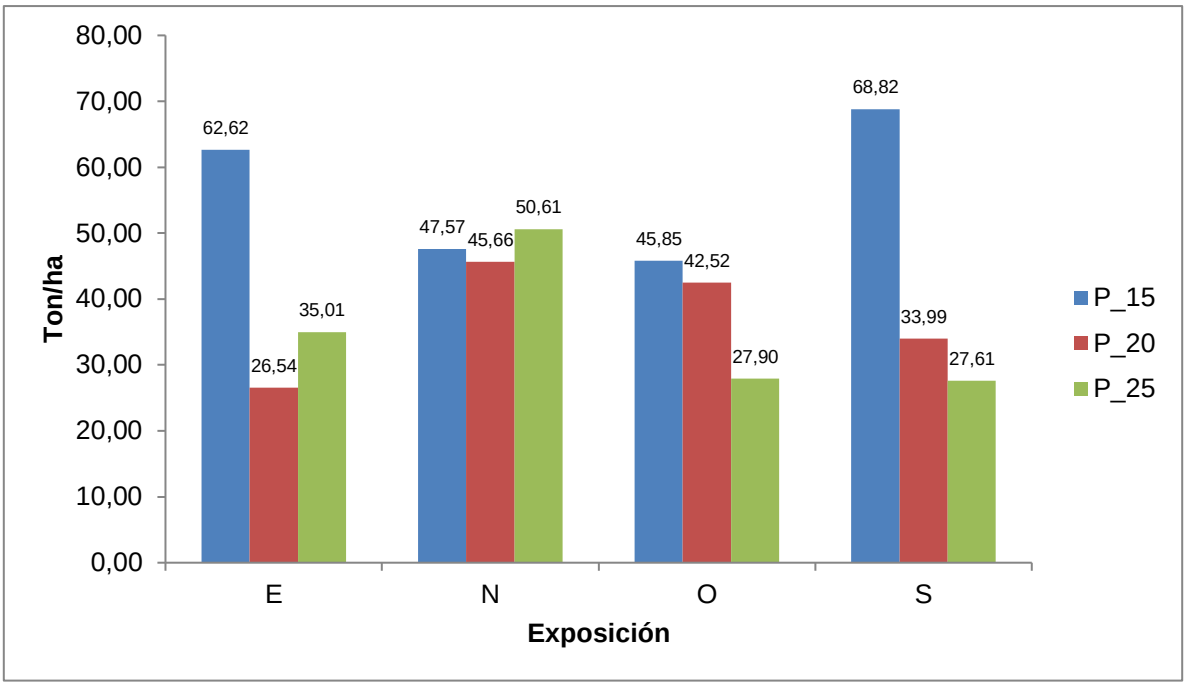

Figura 23. Comparación de los contenidos de carbono entre pendientes y exposiciones.

Carbono en el suelo

Tomando en cuenta dos horizontes del suelo (horizonte o capa O y H y horizonte A) se obtuvo un contenido de carbono del suelo de 62.26 ton/ha. Los contenidos de carbono por pendiente y exposición se muestran a continuación (cuadro 4).

Cuadro 4. Resumen del contenido de carbono del suelo.

	Carbono en el suelo Ton/ha		**Carbono Total**
	Horizonte O/H	Horizonte A	
Pendiente			
15%	15.18	56.22	**71.40**
20%	18.63	37.18	**55.81**
25%	24.30	35.28	**59.59**

Exposición			
Este	22.17	41.39	**63.56**
Norte	17.64	47.95	**65.59**
Oeste	13.84	38.76	**52.60**
Sur	23.84	43.48	**67.31**

6.2.6 Estimación de carbono total

El contenido de carbono total del área de conservación del Parque Nacional es de 127.5 ton/ha sin embargo la exposición Este con pendiente del 15% es la que acumuló mayor cantidad de carbono con 169.9 ton/ha y la menor fue la Oeste con pendiente del 25% con 86.44 ton/ha. La exposición Este fue la de mayor acumulación con 107.05 ton/ha mientras que la pendiente es 20% con 137.88 ton/ha.

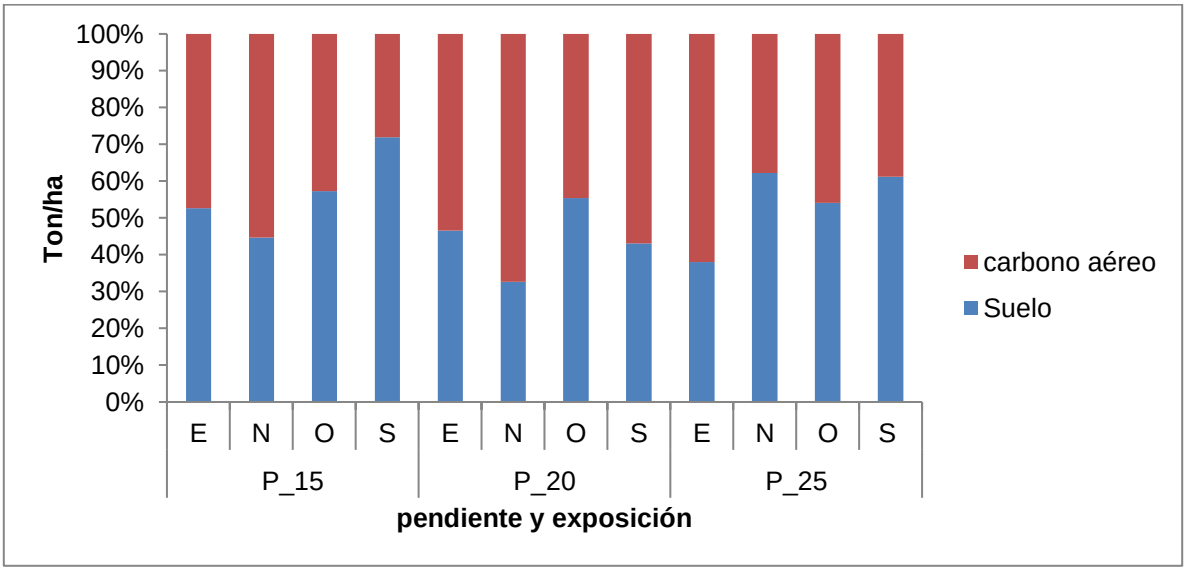

Figura 24. Proporción porcentual del carbono total.

Para la prueba estadística se utilizó un ANOVA comparando tres factores, pendiente, exposición y estrato, la cual dio como resultado diferencia estadística significativa solo entre los estratos, con excepción de los arbustos-herbáceas en la cual no se presentó ninguna diferencia (Cuadro 5).

Cuadro 5. Valores de *P* en la prueba estadística ANOVA.

Variables	Contenido de carbono	*P*
Pendiente		
15%	127.57	
20%	137.88	0.771
25%	117.04	
Exposición		
Este	107.05	
Norte	82.37	0.604
Oeste	59.39	
Sur	81.67	
Estratos		
arbolado	60.35	
arbusto	0.55	
herbácea	1.17	<2e-16
materia orgánica	19.37	
suelo	42.89	
Combinación		
arbolado-arbusto		0.000
arbolado-herbácea		0.000
arbolado-materia orgánica		0.000
arbolado-suelo		0.003
arbusto-herbácea		0.999
arbusto-materia orgánica		0.000
arbusto-suelo		0.000
herbácea-materia orgánica		0.001
herbácea-suelo		0.000
materia orgánica-suelo		0.000

A continuación se muestra un diagrama de los estratos y sus contenidos de carbono total en el Parque Nacional “El Chico” en un área de conservación.

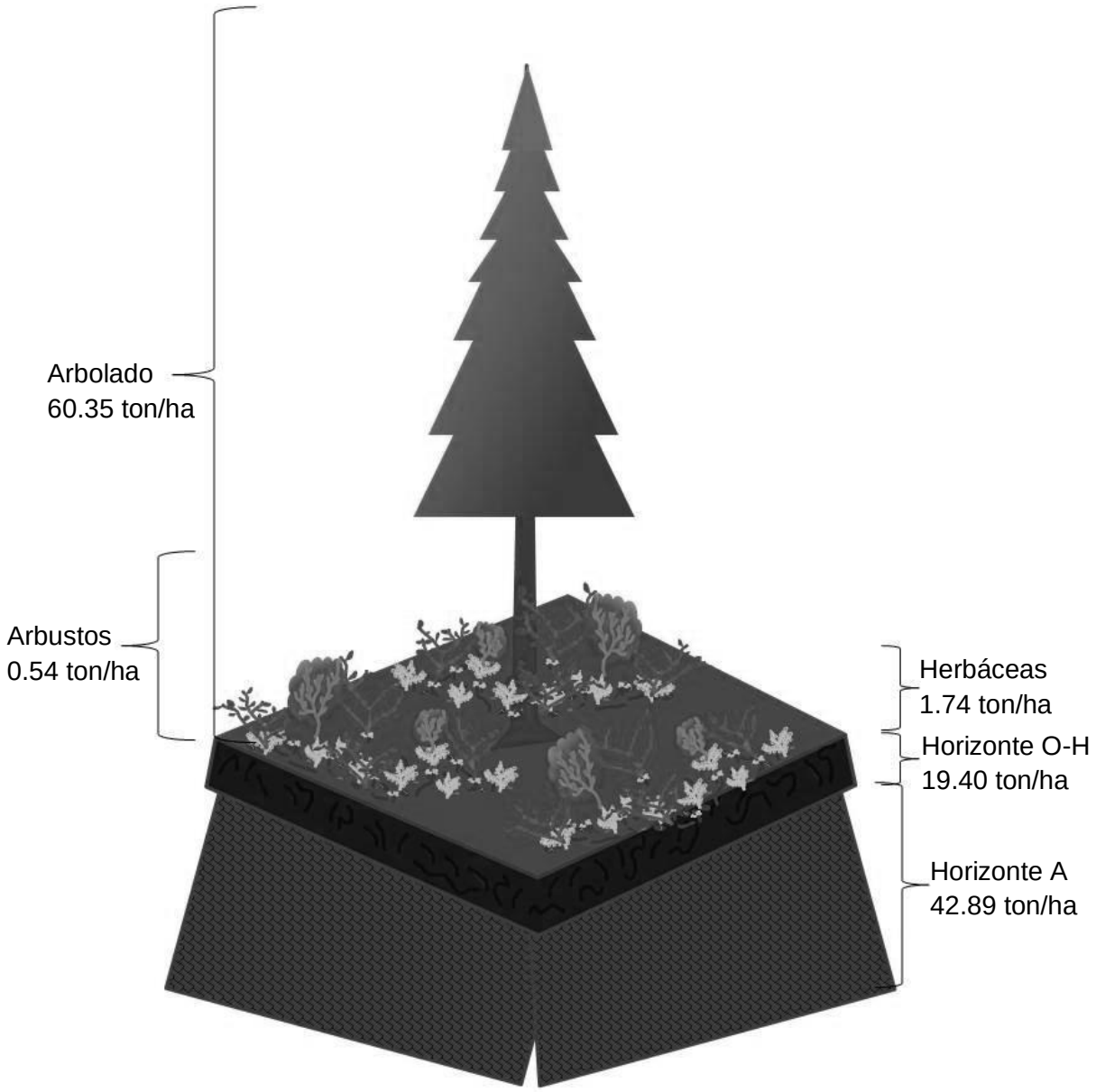

Figura 25. Esquema del contenido de carbono total del área conservada del parque.

VII. DISCUSIÓN

7.1. Estimación de carbono

Existen diferencias en el contenido de carbono aéreo y terrestre en los bosques a lo largo de su ciclo de vida, debido a las variaciones climáticas y al aprovechamiento, por tal motivo se debe monitorear constantemente los almacenes. En el área estudiada no se encontraron diferencias significativas en el contenido de carbono influenciado por la pendiente y exposición, pues la pendiente es relativamente la misma en todos los sitios, lo que propicia un microclima para el crecimiento de las especies, sin embargo la en la exposición Este se notó un mayor contenido de carbono, lo cual difiere con otros autores que señalan que en la exposición Norte donde se tiene mayor cantidad de humedad, el desarrollo de la vegetación es mayor, así como los contenidos de biomasa y carbono(Julio y Giroz, 1975; Martinez y Prieto, 2011;). Lo anterior se debe a lo que señala Martinez (2008) que considera que de acuerdo a la pendiente y exposición del terreno, una orientación Este presenta un potencial natural medio para el crecimiento de las plantas en bosques templados. No obstante en el Parque Nacional existen áreas conservadas sin afectación de incendios dónde la biomasa se ha acumulado durante muchos años aumentando así el contenido de carbono aéreo.

El carbono aéreo del Parque Nacional se encuentra por debajo de los contenidos de diferentes bosques (cuadro 6) y tal como lo señalan algunos autores como Smith y Smith (2007); Lapeyre *et al.,* (2004) y Peña *et al*., (2011), esta diferencia podría darse por la mezcla de especies, densidad del arbolado, edad y por el tamaño de

los mismos, el tipo de manejo, además de las características de cada terreno como la altitud y la exposición. Por ejemplo, García *et al.* (2016) encontró que en la Cuenca Presa Guadalupe, Estado de México, la mayor densidad de bosque se está en las exposiciones Norte y Este, y conforme aumenta la altitud el bosque se consolida solamente en la exposición Norte, contrastando con los resultados del parque.

En el caso del carbono contenido en el suelo, las diferencias se deben a la mezcla de especies y a la metodología utilizada para cada estudio.

Cuadro 6. Comparación de los almacenes de carbono aéreo y en el suelo.

Estudios	Lugar	Vegetación	Carbono en el suelo Ton/ha	Carbono aéreo Ton/ha
Presente estudio	Parque Nacional "El Chico", Hidalgo	Bosque de Abies	65.42	62.07
Bolaños *et al.*, 2017	Monte Tláloc, Texcoco	Bosque de Abies y Callitropsis	205.00	237.00
García, *et al.*, 2016	Cuenca Presa Guadalupe, Estado de México	Bosque de Abies		91.22
Quiroz, 2013	San José del Rincón, Edo. De México	Bosque de Abies, Pinus, Quercus y Callitropsis	138.49	
Razo *et al.*, 2013	Parque Nacional "El Chico", Hidalgo	Bosque de Abies		166.60

Dentro del carbono aéreo están los arbustos los cuales se presentaron en un menor porcentaje que el resto, debido probablemente por el tipo de especie, la falta de luz al sotobosque pues las copas del arbolado suele ser denso, lo cual impide el crecimiento de los mismos (Valladares *et al.* 2004; Rzedowski, 2006 y CAEM, 2014).

En contraste con las herbáceas que el microclima favorece el crecimiento de la biomasa (Smith y Smith, 2007) y por consecuente del carbono.

El contenido de carbono en el suelo es influido por el tipo de vegetación, el tipo de suelo y su origen (Arbelo *et al.* 2002; Calentano *et al.* 2011), en el caso del Parque Nacional el contenido de carbono se ve afectado por la baja densidad de los árboles, arbustos y herbáceas, por lo que la acumulación de hojarasca y materia orgánica es menor que en otros bosques de oyamel y diferentes tipos de ecosistema (Calentano *et al.* 2011; Quiroz, 2013; Bolaños *et al.,* 2017), de igual manera se encontró una gran cantidad me musgo, lo que sirve de barrera para la absorción del carbono. Esta diferencia se da por el factor orientación que influye en la producción de biomasa debido a la alteración tiene sobre variables climáticas como, radiación solar y evaporación del suelo (Julio y Giroz, 1975).

Hubo características ambientales que no fueron medidas como la luz, pH, humedad del aire, entre otras, las cuales contribuirán a la generación de información para entender el almacén de carbono total. De igual manera la pendiente no fue suficiente para poder tener una diferencia estadística en los contenidos de carbono, en estudios posteriores debería aumentar la diferencia entre las pendientes y contrastar con los diferentes tipos de vegetación y áreas del Parque Nacional. De esta manera se conocerá el carbono total del parque tanto en áreas de regeneración, conservación, uso tradicional, uso público, entre otros.

VIII. CONCLUSIÓN Y APLICACIÓN PRÁCTICA

El carbono total de la zona de conservación del parque se encuentra por debajo en comparación con otros bosques de oyamel debido a las características del terreno y uso de la tierra. Tampoco se encontraron diferencias significativas de la pendiente y exposición lo cual tiene como consecuencia, que las estrategias de manejo se podrán hacer en cualquier área del parque. En el inventario forestal también se encontró que hay baja densidad del arbolado, poca regeneración y arbolado muerto en pie y en descomposición, además sitios con diámetros mayores a los 40 centímetros, lo que indica un bosque viejo y en deterioro. Esto resulta un problema al área, pues en lugar de conservarla se está deteriorando lo que ocasiona un problema tanto como los incendios como plagas y enfermedades.

En primera instancia se podrían recuperar las zonas afectadas por incendios, con reforestación del *Abies religiosa* y la remoción del arbolado muerto ya que a dejarlo en el lugar podría convertirse en combustible para posibles incendios. Posteriormente a los pequeños manchones con regeneración, se debería de hacer una corta de selección con un buen control de desperdicios para permitir el crecimiento de los árboles, con el fin de aumentar las cantidades de biomasa y carbono contenidos en la vegetación y el suelo.

IX. BIBLIOGRAFIA

Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F., Díaz, M. 2008. Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* schl. Et Cham. Terra Latinoamericana. 27(2): 105-114.

Almeida, L., Nava, M., Ramos, A., Espinosa, M., Ordoñes, M. y Jujnovsky, J. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. Gaceta ecológica. 84-85: 53-64.

Arbelo, C., Rodríguez, A., Guerra, J. y Mora, J. 2002. Calidad del suelo y sucesión vegetal en andosoles forestales de las Islas Canarias. Edafología. 9(1): 31-38

Avendaño H., Acosta M., Carrillo A. y Etchevers J. 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de Abies religiosa. Fitotecnia Mexicana 32(3): 233-238.

Banco Mundial. 2017. [Actualizado al 2017]. Página electrónica (https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS?end=2014&locations=ZJ&start=2006&view=chart)

Barrionuevo, S. y Pan, E. 2009. Evaluación del CO_2 almacenado en la vegetación del bosque nativo de Santiago del estero (Argentina): bases para la conservación de bosques en regeneración. Foresta Veracruzana. 11 (2): 1-10.

Bellón, M., Masera, O. y Segura, G. 1993. Response options for sequestring carbon in Mexican forests. Reporte al F-7 International Network on Tropical

Forestry and Global Climatic Change, Energy and Environment Division, Lawrence-Berkeley Laboratory, Environmental Protection Agency, Berkeley.

Benjamín, J., y Masera, O. 2001. Captura de Carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques. 7(1): 3-12.

Bolaños, Y., Bolaños, M., Paz, F., Ponce, J., 2017. Estimación de carbono almacenado en bosques de oyamel y ciprés en Texcoco, Estado de México. Terra Latinoam, 35(1): 73-86.

Buendía, R. 2011. Estimación de los almacenes de carbono en el suelo, de cuatro especies tropicales en una plantación forestal en la huerta, Jalisco. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco. México.

Calentano, D., Zahawi, R., Finegan, B.,Casanoves, F., Ostertag, R., Cole, R. y Holle, K. 2011. Restauración ecológica de bosques tropicales en Costa Rica: efecto de varios modelos en la producción, acumulación y descomposición de hojarasca. Rev. Biol. Trop. 59(3): 1323-1336

Chaplin-Kramer, R., Ramler, I., Sharp, R., Haddad, N., Gerber, J., West, P., Mandle, L., Engstrom, P., Baccini, A., Sim, S., Muller, C. y King, H. 2015. Degradation in carbon stocks near tropical forest edges. Nature Communications 6: 1-6.

Chazdon, R., Letcher, S., Breugel, M., Martinez, M., Bongers, F., Finegan, B. 2007. Rates of change in tree communities of secondary tropical forests following

major disturbances. Proceedings of the Royal Society of London 362 (1): 273-289.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2005. Programa de conservación y manejo Parque Nacional El Chico. Ed. 1. 236 pp.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2015. Estrategia de Cambio Climático desde las Áreas Naturales Protegidas: Una Convocatoria para la Resiliencia de México (2015-2020). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2016. [Actualizado al 8 de septiembre] Página electrónica (http://www.conanp.gob.mx/regionales/)

Corner, C. y Granados C., 2001. Respuesta de las selvas tropicales al incremento de CO2 en la atmósfera. Revista Forestal Iberoamericana 1(1): 63-71.

Corporación Ambiental y Empresarial (CAEM), 2014. Crecimiento, biomasa acumulada y carbono capturado de 25 especies de árboles y arbustos nativos de la cordillera oriental colombiana. Corporación ambiental y empresarial, Fundación Natura. Bogotá. 122 pp.

Dávalos, R., Rodríguez, M., y Martinez, E., 2008. Almacenamiento de carbono. Pp 223-233. En: Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Manson (ed.) INECOL. México.

FAO, 2001. La gestión de los bosques ante el cambio climático. 20 P.

FAO, 2001. Soil carbon sequestration for impoved land management. Word soil reports 96. Roma, 58 p.

Fisher, M. 2000. Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO2. Roma, Italia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, FAO. Obtenido de ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr88.pdf

Forest Carbon Partnership Facility (FCPF). 2015. Estimación de costos de oportunidad de REDD+ Manual de capacitación. Forest Carbon Partnership Facility. 1(4):33-43.

Galeana, J., Ordóñez, J., y Corona, N. 2013. Estimación de contenido de carbono en la cuenca del río Magdalena, México. Madera Bosques 19: 53-69.

Galicia, L.,Gamboa, A., Cream, S., Chavéz, B., Peña, V., Saynes, Vinisa, Y. y Siebe, C. 2015. Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. Terra Latinoamericana 34 (1): 1-29.

García, I., Almeida, L., Ávila-Akerberg, V. 2016. Estimación del almacenamiento de carbono y la percepción social de los servicios ecosistémicos que brinda el bosque de Abies religiosa de la cuenca presa Guadalupe, Estado de México. Teoría y Praxis. 19: 65.93 pp.

Gayoso. J. y Guerra. J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. Bosque 26(2): 33-38.

Goche. R., M. Fuentes. S., Borja. D. y Ramírez. M. 2000. Variación de las propiedades físicas de la madera en un árbol de Abies religiosa y de Pinus ayacahuite var. Veitchii. Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 6(1):83-92.

Gonzáles, M., Jurado, E.,Gonzáles, S., Aguirre, O., Jiménez, J. y Navar, J. 2003. Cambio climático mundial: origen y consecuencias. Ciencia UANL, 6(3): 377-385

Intergovermental Panel on Climate Change (IPCC), 1995. Climate Change 1995. The Suplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.

Jong, B., Cairns, M., Haggerty, P., Ramírez, N., Ochoa, S., Mendoza, J., González, M., y March, I. 1999. Land-use change and carbon flux between 1970s and 1990s in Central Highlands of Chiapas, Mexico. Environ. Manage. 23: 373-385.

Julio, G. y Giroz, G.. 1975. Notas sobre el comportamiento del fuego y su aplicación en el control de incendios forestales. Bosque. 1(1): 18-27.

Jurado, P., Saucedo, R., Morales, C. y Martinez R. 2013. Almacén y Captura de Carbono en Pastizales y Matorrales de Chihuahua. Inifap. 1: 1-39.

Lapeyre, T., Alegre, J., Arévalo, L. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. Ecología aplicada 3 (2): 35-44.

Lopez, L., Domínguez, M., Martínez, P., Zabala, J., Gomez, A. y Posada, S. 2016. Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis Müell. Arg.*) de diferentes edades. Madera y Bosques. 22(3): 49-60.

Manrique, S., y Franco, J. 2012. Bosques Nativos: ¿Bioenergía o secuestro de carbono? Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 16 (6): 25-32.

Martinez, E., Fuentes, J. y Acevedo, E., 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. R.C.Suelo Nutr. Veg. 8 (1): 68-96.

Martinez, M. 2008. Potencial productivo y zonificación forestal para el reordenamiento silvícola en bosques templados. Inifap. 37(1): 1-58.

Martinez, M. y Prieto, J. 2011. Determinación de áreas potenciales para el establecimiento d las plantaciones forestales comerciales en la región norte de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Durango. 44 pp.

Martinez, M. y Prieto, J. 2011. Determinación de áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en la región norte de México. Inifap. 47(1): 1-44.

Matus, F. y Maire, C. 2000. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. Agricultura Técnica, 60(2), 112-126.

Medina, R., 1983. Delimitación de sitios circulares de muestreo en inventarios forestales. Revista ciencia forestal. 43(8): 3-23.

Melo, C. y Lopez, J. 1993. Parque Nacional El Chico, marco geográfico- natural y propuesta de Zonificación para su manejo operativo. Investigaciones geográficas boletín. 28: 65-128.

Mostacedo, B. y Fredericksen, T. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. BOLFOR. Santa Cruz. Bolivia. 87 pp.

Nakama V., A. Alfieri., Casa. R., Lupi. A., López, G. y Pathauer, P. 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.

Ordóñez B., De Jong, H. y Masera, O. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de Pinus pseudostrobus, Michoacán. Madera y Bosques 7(2):27-47.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2002. Informe sobre recursos mundiales de suelos. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. 61 pp.

Pardos, J. 2010. Carbono en los ecosistemas terrestres. Pp. 27-52. En: Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria Ministerio de Ciencia e Innovación. Madrid.

Peña, M., Saldarriaga, J., Duque-Montoya, A. 2011. Acumulación de carbono y cambios estructurales en bosques secundarios del oriente Antioqueño, Colombia. Actual Biol 33 (95): 209-217.

Pérez- Ramirez, S., Ramírez, M., Jaramillo- Lopez, P., Bautista, F. 2013. Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: Reserva de la Biosféra Mariposa Monarca, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9 (1): 157- 173.

Quiroz, Y. 2013. Medición de la captura en suelos forestales, en la localidad del Cebatí, San José del Rincón, Edo de Mexico. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Estado de México. México

Ramirez, M. 2015. Estimación de carbono retenido en la biomasa aérea, en una selva tropical de Yucatán, México. Tesis de maestría. Centro de investigación científica de Yucatán, A.C., Mérida, Yucatán.

Razo. R., Gordillo. A., Rodríguez. R., Maycotte. C., Acevedo. O. 2013. Escenarios de carbono para el bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 9 (1): 17-21.

Razo. R., Rodriguez, R., Gordillo, A., Maycotte, C. y Acevedo, O. 2015. Coeficientes de carbono para arbustos y herbáceas del bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico. Revista mexicana de Ciencias Forestales, 6(31):58-67.

Rodriguez, R., Jiménez, J., Aguirre, O., Treviño, E. y Razo, R. 2009. Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Ra Ximhai. 5(3):317-327.

Rodríguez. R., Razo R., Fonseca. J., Capulín J., Goche. R. 2015. Regeneración natural post-incendio de Abies religiosa (H.B.K.) Schl. et Cham, en el Parque Nacional “El Chico” Hidalgo. Revista Iberoamericana de Ciencias 2(2): 11-22.

Rzedowski, J. 2006. Bosque de coníferas. pp. 295-327. En: Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Sanchez-Gonzalez, A., Lopez-Mata, L. y Vibrans, H. 2006. Composición y patrones de distribución geográfica de la flora del bosque de oyamel de cerro Tláloc, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 79: 67-78.

Sanchez-Velasquez, L. y Pineda-Lopez, M. 1991. Distribución y estructura de la población *Abies religiosa* (H.B.K) SCHL. ET CHAM., en el Cofre de Perote, estado de Veracruz, México. Acta Botánica Mexicana. 16: 45-55.

Schimel, D. 1995. Terrestrial Ecosystems and The Carbon Cycle. Global Change Biology, 1: 77-91.

Schlatter, J. 1987. La fertilidad del suelo y el desarrollo de *Pinus radiata* D. Don. Bosque. 8(1): 13-19.

Schlatter, J. y Gerding, V. 1985. Deficiencia de boro en plantaciones de *Pinus radiata*D.Don en Chile II. Principales causas o corrección. Bosque. 6 (1): 32-43.

Schlegel, B. 2001. Estimación de carbono del bosque del tipo forestal siempreverde. Simposio internacional de Medición y monitoreo de captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile. 13 pp.

Schulze, E., Wirth, Ch. y Heimann, M. 2000. Managing forest after Kyoto. Science. 289(5487): 2058-2059.

Schuschny, A. 2007. El método DEA y su aplicación al estudio del sector energético y las emisiones de CO2 en América Latina y el Caribe. CEPAL Naciones Unidas. Santiago de Chile. Chile.

Smith, T. y Smith R. 2007. Ecología. Pearson Educación, S.A. Madrid. 776 pp.

Smith, T., Cramer, W., Dixon, R., Leemans, R., Neilson, R. y Solomon, A. 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle. En Wisniewski, J. y R.N. Sampson (Eds). Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification and Sources of CO2. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp. 19-37.

Snowdon, P., Raison, J., Keith, H., Montagu, K., Bi, K., Ritson, P., Grierson, P., Adams, M., Burrows, W. y Eamus, D. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. National carbon accounting system technical report No. 31 Draft-March 2001. Australian Greenhouse Office. 114 p.

Solano, M. 2016. Evaluación del contenido de carbono orgánico en el suelo del área protegida “bosque y vegetación protectora Cerro Casigana” en la parroquia Santa Rosa en el Cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Tesis de licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador.

Tipper R. 1998. Update on carbon offsets. Tropical Forest Update. 8(1):2-5.González, M., Jurado, E., González, S., Aguirre, C., Jimémez, J. y Navar, J.

2003. Cambio climático mundial: origen y consecuencias. Ciencias UANL. 6 (3): 377-386.

Valladares, F., Aranda, I. y Sánchez- Gómez, D. 2004. La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua. pp. 335-369 En: Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid.

Vargas- Larreta, B. 2013. Sistema biométrico para la planeación del manejo forestal sustentable de los ecosistemas con potencial maderable en México (2013-C01-209772) Hidalgo. CONACYT y CONAFOR. 42 pp.