



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E
INGENIERÍA
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**GESTIÓN INTEGRAL AMBIENTAL DEL BOSQUE DE OYAMEL
DEL PARQUE NACIONAL "EL CHICO", HIDALGO, MÉXICO**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA:

RAMÓN RAZO ZÁRATE

Pachuca, Hgo. Octubre de 2013

La presente tesis titulada: **“Gestión Integral Ambiental del Bosque de Oyamel del Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo, México”** realizada por el pasante **Ramón Razo Zárate**, bajo la dirección del Dr. Alberto José Gordillo Martínez y el comité asesor indicado, ha sido aprobada por los mismos y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

Comité Asesor

Dr. Alberto José Gordillo Martínez
Director

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna
Asesor

Dr. Carlos César Maycotte Morales
Asesor

Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval
Asesor

Pachuca, Hgo. Octubre de 2013

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo e Instituto de Ciencias Agropecuarias por las facilidades otorgadas para la realización de mis estudios de posgrado.

Al Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería y al Área Académica de Química por permitirme formar en el Doctorado en Ciencias Ambientales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios.

A mis profesores del Doctorado en Ciencias Ambientales por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias profesionales.

A los administradores y guarda bosques de El Parque Nacional “El Chico” por las facilidades otorgadas para la realización del proyecto de investigación.

Al Dr. Alberto José Gordillo Martínez por su amistad, valiosos consejos y atinada dirección para llevar a buen término este proyecto.

Al Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna por su amistad, el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo y sus valiosas sugerencias para la publicación de los artículos científicos derivados de este proyecto.

Al Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval por su amistad, apoyo, sugerencias y aportaciones para la mejora del proyecto.

Al Dr. Carlos César Maycotte Morales por su amistad, apoyo, confianza y tiempo dedicado a la revisión de este trabajo.

A todas las personas que me brindaron su apoyo incondicional para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

Al mejor hombre que he conocido, mi padre (Q.E.P.D.):

Quien siempre vive en mi corazón y fue mi gran ejemplo de nobleza y humildad.

A mi madre:

Por darme la vida y su gran amor.

A mis hermanas y hermanos:

Por su amor, humildad y apoyo moral que siempre me han brindado.

A Magui:

Por estar siempre a mi lado, por su gran amor y nuestros sueños compartidos.

A mis hijos:

Mayra Cristina, Juan Ramón y Brian por su amor y ser mi fuerza e inspiración para seguir adelante.

A la familia Méndez Castellanos:

Por la gran amistad que nos une y los momentos tan placenteros que pasamos juntos.

A mis compañeros y amigos:

Por los momentos compartidos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN GENERAL	lx

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.2 OBJETIVO GENERAL	4
1.2.1. Objetivos específicos	4
1.3 REVISIÓN DE LITERATURA	5
1.3.1. Los bosques como reservorios de carbono	6
1.3.2 El ciclo del carbono	9
1.3.3 El carbono en los árboles	12
1.4 UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	16
1.4.1 Ubicación del área de estudio	16
1.4.2 Clima	17
1.4.3 Fisiografía	18
1.4.4 Hidrología	19
1.4.5 Geología	20
1.4.6 Edafología	20
1.4.7 Vegetación	20
1.4.8 Fauna silvestre	23
1.4.9 Poblaciones inmersas en el Parque Nacional “El Chico”	24

1.5 LITERATURA CITADA	26
------------------------------	-----------

CAPÍTULO 2

2. COEFICIENTES DE CARBONO PARA ARBUSTOS Y HIERBAS DEL BOSQUE DE OYAMEL DEL PARQUE NACIONAL “EL CHICO”, HIDALGO	28
RESUMEN	28
ABSTRACT	30
2.1 INTRODUCCIÓN	31
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS	32
2.2.1 Colecta de muestras en campo y preparación en laboratorio	33
2.2.2 Determinación de carbono y análisis estadístico	34
2.3 RESULTADOS Y DISCUSIONES	35
2.3.1 Coeficientes de carbono de especies arbustivas	36
2.3.2 Coeficientes de carbono de especies herbáceas	38
2.4 CONCLUSIONES	40
2.5 LITERATURA CITADA	41

CAPÍTULO 3

3. ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO ALMACENADO EN ÁRBOLES DE OYAMEL AFECTADOS POR EL FUEGO EN EL PARQUE NACIONAL “EL CHICO”, HIDALGO	42
RESUMEN	42
ABSTRACT	43
3.1 INTRODUCCIÓN	44
3.2 METODOLOGÍA	47

3.3 RESULTADOS	51
3.3.1 Estructura dasométrica actual del bosque	51
3.3.1.1 Arbolado muerto en pie	51
3.3.1.2 Árboles vivos residuales	52
3.3.1.3 Regeneración natural de oyamel	52
3.3.2 Estimación de biomasa	53
3.3.3 Estimación de carbono	55
3.4 DISCUSIÓN	58
3.5 CONCLUSIONES	61
3.6 LITERATURA CITADA	62
CAPÍTULO 4	
4. ESCENARIOS DE CARBONO PARA EL BOSQUE DE OYAMEL DEL PARQUE NACIONAL “EL CHICO”, HIDALGO	64
RESUMEN	64
ABSTRACT	65
4.1 INTRODUCCIÓN	66
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS	68
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
4.3.1 Escenario de bosque conservado	70
4.3.2 Escenario de bosque medianamente alterado	71
4.3.3 Escenario de bosque afectado por los incendios forestales	71
4.3.4 Escenario de bosque con introducción de especies exóticas	72
4.4 CONCLUSIONES	75

4.5 LITERATURA CITADA	76
CAPÍTULO 5	
5. MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL AMBIENTAL PARA EL BOSQUE DE OYAMEL DEL PARQUE NACIONAL “EL CHICO”, HIDALGO	77
RESUMEN	77
ABSTRACT	79
5.1 INTRODUCCIÓN	81
5.2 METODOLOGÍA	83
5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	84
5.3.1 Principios para la gestión del bosque de oyamel	85
5.3.2 Implementación del programa	91
5.3.3 Identificación y valoración de impactos ambientales	96
5.3.3.1 Cambio de escenario de bosque conservado a bosque productivo	97
5.3.3.2 Cambio de escenario de bosque medianamente conservado a bosque productivo	101
5.3.3.3 Cambio de escenario de bosque alterado por los incendios forestales a bosque productivo	102
5.3.3.4 Cambio de escenario de bosque alterado con introducción de especies exóticas a bosque productivo	103
5.3.4 Medidas de mitigación	104
5.4 LITERATURA CITADA	108
CAPÍTULO 6	
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	CAPÍTULO 1	Página
1.1	Comparación de los efectos del manejo de un bosque y un bosque conservado	9
1.2	El ciclo de carbono en los bosques	10
1.3	Flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal	14
1.4	Reservorios de biomasa y carbono en un árbol	15
1.5	Ubicación del Parque Nacional “El chico” y el área de estudio	16
1.6	Climograma de la estación meteorológica de Mineral el Chico	18
1.7	Tipos de vegetación del Parque Nacional “El Chico”	21
CAPÍTULO 2		
2.1	Ubicación geográfica del Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo	32
2.2	Estratos arbustivo y herbáceo del bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo	35
2.3	Coeficientes de carbono para las 24 especies de arbustos del bosque de oyamel del Parque Nacional “El chico”	37
2.4	Coeficientes de carbono para especies herbáceas del Parque Nacional “El Chico”	38
CAPÍTULO 3		
3.1	Ubicación del Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo y el área afectada por el fuego que fue inventariada	47
3.2	Número de árboles muertos de <i>Abies religiosa</i> por hectárea y sus categorías diamétricas	51
3.3	Número de árboles adultos de <i>Abies religiosa</i> por hectárea	52

	que lograron sobrevivir después de ocurrido el incendio	
3.4	Número de brinzales de <i>Abies religiosa</i> por hectárea que se establecieron en forma natural después de ocurrido el incendio	53
3.5	Modelo potencial (a) y linearizado (b) para estimar biomasa en función del DN en árboles de oyamel del Parque Nacional “El Chico”	54
3.6	Carbono en función del DN para árboles muertos en pie, arbolado adulto vivo y renuevo establecido en forma natural en un área afectada por un incendio forestal	55
3.7	Valores de carbono individual obtenidos con el modelo generado y el desarrollado por Avendaño <i>et al.</i> (2009), para el bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”	60

CAPÍTULO 4

4.1	Ubicación del Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo	68
4.2	Escenarios de captura y/o almacenamiento de carbono del bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”.	70

CAPÍTULO 5

5.1	Modelo de gestión integral ambiental para el bosque de Oyamel del Parque Nacional “El Chico”	84
5.2	Ciclo de vida de un árbol de oyamel	86
5.3	Manejo sustentable del bosque de Oyamel	87
5.4	Tolerancia a la sombra de <i>Abies religiosa</i>	88
5.5	Crecimiento en diámetro de los árboles en diferentes condiciones	89
5.6	Justificación económica del manejo del bosque de oyamel	90

5.7	Efectos del manejo silvícola sobre el aumento de biomasa y carbono	91
5.8	Matriz de identificación y valoración de impactos ambientales de Leopold modificada por Hernández Muñoz y Godillo Martínez A. J., para analizar por primera vez con esta metodología el cambio de escenario de bosque conservado a bosque renovado	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	CAPÍTULO 1	Página
1.1	Distribución de superficies del área de estudio	17
1.2	Municipios y localidades del Parque Nacional “El Chico”	24
CAPÍTULO 3		
3.1	Comparación de biomasa y carbono almacenado por categoría diamétrica por hectárea en <i>Abies religiosa</i> , con base al modelo generado en este estudio y aplicando el de Avendaño <i>et al.</i> (2009)	56
3.2	Estimación de carbono por hectárea para cada condición del arbolado, utilizando el modelo generado para el bosque de oyamel del Parque Nacional “ El Chico”	57
CAPÍTULO 4		
4.1	Número de árboles vivos y muertos de oyamel en cuatro escenarios	72
4.2	Contenido de carbono aéreo en los diferentes escenarios del bosque de Oyamel del Parque Nacional “El Chico”	73
CAPÍTULO 5		
5.1	Cambio de un escenario de bosque conservado a un bosque renovado	92
5.2	Cambio de un escenario de bosque medianamente alterado a un bosque renovado	93
5.3	Cambio de un escenario de bosque alterado por los incendios forestales a un bosque renovado	94
5.4	Cambio de escenario de especies exóticas a un bosque renovado	95

RESUMEN GENERAL

Se efectuó la caracterización de escenarios de carbono que representan las diversas condiciones actuales del bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”, mediante la cuantificación de la cantidad de carbono almacenado en los árboles adultos vivos y muertos de oyamel en los escenarios “bosque conservado”, “bosque medianamente alterado”, “Bosque alterado” y en el escenario con “introducción de especies exóticas”, así como en los brinzales establecidos en forma natural en los dos últimos escenarios, los cuales muestran una alta actividad de captura de bióxido de carbono a través de la fotosíntesis que están realizando los árboles jóvenes establecidos en forma natural y mediante la introducción de las especies exóticas, los cuales aún sin manejo silvícola presentan categorías diamétricas entre 5 y 10 cm y una altura promedio de 4.3 m, almacenando hasta el momento de la evaluación 8.1 y 9.8 ton/ha, respectivamente de carbono. Esta condición es la que más se acerca al escenario perfecto para el almacenamiento y secuestro de carbono por los bosques donde se pretende que las masas forestales se mantengan dinámicas almacenando carbono por periodos de tiempo prolongados en los árboles adultos vivos, incorporando constantemente biomasa al suelo producto de los árboles o sus partes que lleguen a morir, mientras se va estableciendo la regeneración natural o mediante la reforestación con distintas especies y otros individuos jóvenes que están en plena actividad fotosintética. Para llevar el bosque de oyamel a un escenario ideal para la fijación y almacenamiento de carbono se diseñó un Modelo de Gestión Integral Ambiental para el bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico” considerando los principios siguientes: a) El bosque de oyamel es un recurso natural renovable con

alta capacidad para la fijación y almacenamiento de carbono, que puede ser mejorado y de perdurar por siempre con un buen programa de gestión, basado en el manejo forestal sustentable de los diferentes escenarios, b) *Abies religiosa*, es una especie tolerante que se establece bajo media sombra, por lo que su manejo silvícola es compatible con la conservación de la biodiversidad del bosque, c) El bosque de oyamel del parque nacional “El Chico” está constituido en su mayor parte por arbolado sobremaduro (de más de 80 años de edad), con problemas de plagas y enfermedades; cuyos crecimientos e incrementos en volumen y biomasa actualmente son poco significativos, por lo que la fijación de carbono prácticamente ya no se manifiesta, d) Los árboles como todo ser vivo, nacen, crecen, se desarrollan, se reproducen y finalmente mueren. Durante el crecimiento de los árboles, las tasas de fijación de carbono son inicialmente crecientes, seguidas por tasas gradualmente en disminución; por lo que el bosque de oyamel alcanza su mayor eficiencia para el crecimiento y la fijación de carbono en las fases juvenil y adulta, e) La mayor parte del bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”, corresponde a masas sobremaduras con problemas de plagas y enfermedades, que muestran una clara tendencia futura pero muy cercana a sucumbir, si se espera a que esto suceda, los costos para recuperar el área serán muy altos, f) Disturbios como los incendios forestales, el derribo de árboles por el viento, la muerte y caída de los árboles por las plagas y enfermedades han favorecido la apertura de claros en algunas zonas del parque, donde se ha venido estableciendo la regeneración natural de oyamel y de otras especies a altas densidades, demandando aplicar el manejo silvícola de las mismas para aumentar su eficiencia en la fijación y almacenamiento de carbono, así como de otros servicios ambientales que proporciona el bosque.

Mediante la aplicación del modelo de gestión propuesto como resultado de este estudio, cada uno de los escenarios representativos de las condiciones actuales del bosque de oyamel deberá someterse a los tratamientos silvícolas que correspondan en forma gradual y ordenada hasta lograr convertir el área manejada en un escenario ideal para la fijación y captura de carbono, así como aprovechar los servicios ambientales que brinda el bosque a la sociedad local, nacional e internacional.

Palabras clave: Bosque de oyamel, biomasa, captura de carbono, gestión integral ambiental, *Abies religiosa*.

GENERAL SUMMARY

Characterization was performed carbon scenarios representing various current conditions fir forest of the National Park "El Chico", by quantifying the amount of carbon stored in living and dead adult trees of fir on stage "conserved forest "," moderately disturbed forest "," forest altered "and on stage with" alien species ", as well as seedlings established naturally in the last two scenarios, which show a high activity of CO₂ capture through photosynthesis being made by young trees naturally established by the introduction of alien species, which even without management present diameter categories 5 to 10 cm and an average height of 4.3 m; storing until 8127 and 9.81 ton / ha, respectively carbon. This condition is the closest to the perfect setting for the storage and sequestration of carbon by forests which are intended to remain dynamic forests storing carbon for long periods of time in adult trees living biomass to the soil constantly adding product of trees or parts arriving to die while being established by natural regeneration or reforestation with species and other young people are in full photosynthetic activity. To bring the fir forest to an ideal scenario for carbon capture and storage designed a Comprehensive Environmental Management Model for the fir forest of the National Park "El Chico" considering the following principles: a) The fir forest is a renewable natural resource with high capacity for carbon capture and storage, which can be improved and to last forever with a good management program, based on SFM of different scenarios, b) *Abies religiosa*, is a tolerant species establishing under partial shade, so its silvicultural management is compatible with the conservation of forest biodiversity, c) The fir forest national park "El Chico" is constituted largely by overmature trees (over 80

years old), with pest and disease problems, whose growth and increases in volume and biomass currently are not significant, so carbon capture practically not manifested, d) Trees like all living, born, grow, develop, reproduce and eventually die. During the growth of trees, carbon sequestration rates are initially increased, followed by gradually decreasing rates, so the fir forest reaches its highest efficiency for growth and carbon capture juvenile and adult stages, e) Most of the fir forest of National Park “El Chico”, corresponding to masses overripe with pest and disease problems, which show a clear tendency to succumb future, if you wait for that to happen, the costs will be very high recall , f) disturbances such as forest fires, felling trees in the wind, death and falling trees from pests and diseases have led to the opening of gaps in some areas of the park, which has been establishing natural regeneration fir and other species at high densities, silvicultural management urging them to increase their efficiency in carbon capture and storage.

Through the application of the management model, each of the scenarios representative of current conditions fir forest must undergo silvicultural treatments to them in a gradual and orderly to achieve the managed area make an ideal setting for capturing and carbon storage.

Keywords: fir forest, biomass, carbon sequestration, environmental integrated management, *Abies religiosa*.

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El cambio climático es un tema que desde hace varias décadas ha formado parte de las investigaciones del medio científico. Los avances en su comprensión y las crecientes evidencias de sus potenciales implicaciones ambientales, sociales, normativas y económicas, a diferentes escalas, ha hecho que los gobiernos del mundo lo incorporen como un problema de agenda. Una de las manifestaciones del cambio climático, es el calentamiento global producido por el incremento en la concentración de diversos gases en la atmósfera, conocidos como de “efecto invernadero”, entre los que destacan: el bióxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozono, bióxido de azufre y los clorofluorocarbonos. De estos, el primero es quien predomina y aunado a sus concentraciones atmosféricas que se han elevado en un 30%, desde 1860 (de 280 a 360 partes por millón). Las actividades antropogénicas que desde la revolución industrial intensificaron el uso de combustibles fósiles, así como la destrucción de muchos sistemas ecológicos que aportan un equilibrio dinámico de gases en la atmósfera, ha hecho que la acumulación antes mencionada de bióxido de carbono alcance niveles que no se registraban en la Tropósfera desde hace 200,000 años (Ordóñez, 1999).

Los incendios forestales y los cambios de uso del suelo son factores importantes para el cambio climático global, puesto que producen emisiones de bióxido de carbono y reducen de manera alarmante las superficies cubiertas por bosques.

Sin embargo, se ha estimado que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación en todo el mundo, los bosques podrían

resultar en un sumidero neto de carbono durante los próximos cien años, permitiendo reducir de 20 a 50% de las emisiones netas de bióxido de carbono a la atmósfera (IPCC, 1995). Una forma de compensar o mitigar los impactos antes mencionados es mediante la conservación de los bosques por medio de prácticas silvícolas, ya que a través del periodo de renovación, crecimiento y desarrollo de las masa forestales, los bosques capturan y almacenan carbono como resultado de los procesos fotosintéticos. En estos ecosistemas el carbono queda retenido en la biomasa viva, la materia orgánica en descomposición y el suelo. Los índices de captura de carbono varían de acuerdo al tipo de árboles, suelos, topografía y prácticas de manejo en el bosque. Sin embargo, la acumulación de carbono en los bosques, llega eventualmente a un punto de saturación cuando los árboles alcanzan su madurez y desarrollo completo, a partir del cual la captura de carbono prácticamente ya no se manifiesta (Alex, 2007), como sucede en algunos rodales sobre maduros del bosque de *Abies religiosa* “oyamel” del Parque Nacional “El Chico” donde es urgente renovar dichas masas forestales mediante la aplicación efectiva de buenas prácticas de gestión que garanticen la permanencia del bosque y su eficiencia en la captura y almacenamiento de carbono.

Para incrementar las reservas de carbono y el potencial de mitigación del cambio climático de los diferentes escenarios que conforman el bosque de oyamel, es posible adoptar prácticas de gestión específicas como la aplicación de tratamientos silvícolas de cortas de selección combinadas con reforestaciones de enriquecimiento con especies nativas en claros desprovistos de vegetación, teniendo siempre en cuenta los efectos en otros elementos asociados y las múltiples interacciones dentro del ecosistema.

Las actividades de gestión integral ambiental que pueden favorecer la captura y almacenamiento de carbono en el bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico” deben incluir, prácticas sostenibles de gestión y aprovechamiento del bosque, programas de prevención y combate de incendios, plagas y enfermedades y gestión de la biodiversidad y de las áreas protegidas. Mediante la adopción de estas prácticas es posible asegurar que éste bosque de usos múltiples siga fijando y almacenando carbono, con la potencialidad de proporcionar otros bienes y servicios en beneficio de las generaciones actuales y futuras, siempre y cuando los planes y las prácticas de gestión integral ambiental se adapten a las modificaciones, tanto graduales como repentinas, causadas por el cambio climático.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Contribuir a mejorar la capacidad de captura y almacenamiento de carbono del bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”, mediante el diseño de un programa de gestión integral ambiental para las diferentes condiciones del bosque, que además permita mantener su capacidad para proporcionar otros bienes y servicios en beneficio de un desarrollo sustentable.

1.2.1 Objetivos específicos

- Realizar un inventario forestal en una superficie del Parque Nacional “El Chico”, que concentre diferentes condiciones del bosque de oyamel.
- Desarrollar modelos alométricos a partir de datos del inventario forestal para la estimación de biomasa y carbono del componente aéreo del bosque de oyamel.
- Proponer actividades de gestión integral ambiental que favorezcan la captura y el almacenamiento de carbono en cuatro escenarios representativos del bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”

1.3 REVISIÓN DE LITERATURA

A nivel mundial existe la preocupación por el calentamiento de la atmósfera como consecuencia del aumento de la concentración de los gases tipo invernadero de origen antropogénico. El principal de éstos, es el bióxido de carbono (CO_2), el cual se ha incrementado desde 280 ppm que se estimaba que había durante el periodo preindustrial, hasta cerca de 360 ppm que hay en la actualidad (Acosta, 2001).

Existe un consenso mundial acerca de que las tasas actuales de uso de combustibles fósiles llevarán en un futuro hacia consecuencias inaceptables para el ser humano. Las emisiones de CO_2 reflejan más o menos el bienestar de las sociedades y el desarrollo va acompañado con un aumento de la tasa de combustión. Las medidas técnicas para reducir las emisiones son costosas y por eso se prefiere el potencial de la biosfera para esta función (Jandl, 2001).

Los ecosistemas forestales pueden almacenar cantidades significativas de gases de efecto invernadero (GEI) y en particular de CO_2 . Como producto de este hecho, en las últimas décadas ha surgido un interés considerable en incrementar el contenido de carbono en la vegetación terrestre a través de la conservación forestal, la reforestación y el manejo silvícola.

Actualmente la deforestación y la degradación forestal son factores importantes para el cambio climático global, puesto que producen emisiones netas de CO_2 . Además generan grandes problemas locales, regionales, nacionales e internacionales, como el incremento de la erosión y el abatimiento de los mantos acuíferos, entre otros. Sin embargo, se ha estimado que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación en todo el mundo, los

bosques podrían resultar en un sumidero neto de carbono durante los próximos cien años, permitiendo reducir de 20 a 50% de las emisiones netas de CO₂ a la atmósfera (IPCC, 1995), lo cual concuerda con un gran número de estudios que han reportado el gran potencial que poseen los bosques para almacenar carbono (Dixon *et al.*, 1994). Cuando estos sistemas reemplazan los cultivos con baja biomasa o los pastizales y proveen de alternativas económicas a los campesinos que provocan los cambios del uso del suelo, se produce una reducción en el flujo neto de CO₂ a la atmósfera mediante. 1) la acumulación de carbono en los nuevos árboles, 2) la protección del contenido de carbono en la biomasa forestal existente y 3) la substitución de los materiales que son fabricados utilizando demasiada energía y los combustibles emisores de gases de efecto invernadero.

El Abies religiosa (oyamel) es una conífera de la familia de las Pináceas que forma bosques que en México son santuarios para la mariposa monarca, pulmón de una de las urbes más grandes del mundo como es la Ciudad de México, así como otras ciudades de los estados de Morelos, Hidalgo, Puebla, Michoacán, Jalisco, Guerrero, Tlaxcala, Veracruz y Distrito Federal. Los árboles de oyamel llegan a medir de 20 a 30 metros de altura y se distribuyen de forma natural en altitudes de 1,700 a 3,500 MSNM y siempre habita en lugares con grandes pendientes y fríos o templados, donde forma bosques húmedos (Tivo e Iglesias, 2006).

1.3.1 Los bosques como reservorios de carbono

En su conjunto, los bosques almacenan más carbono que el que actualmente se encuentra libre en la atmósfera. Por el contrario, también son fuente importante de emisiones debido a las altas tasas de deforestación y los incendios forestales. Por

tanto, detener los procesos de deforestación y degradación de los bosques es uno de los principales retos globales en el combate al cambio climático (FAO, 2012).

El manejo sostenible de bosques y selvas naturales es una alternativa viable y efectiva, para detener el deterioro de estas zonas, además de ser la mejor opción para capturar carbono; por encima del establecimiento de áreas naturales protegidas.

Por lo anterior, es necesario conservar los bosques, manejarlos adecuadamente, y comenzar a reforestar en zonas altamente degradadas, permitiendo una regeneración de la cobertura vegetal acorde al tipo de suelo, fisonomía del terreno y cercanía de cuerpos de agua, e integrando este proceso en todo momento a las actividades agrícolas y pecuarias según la región.

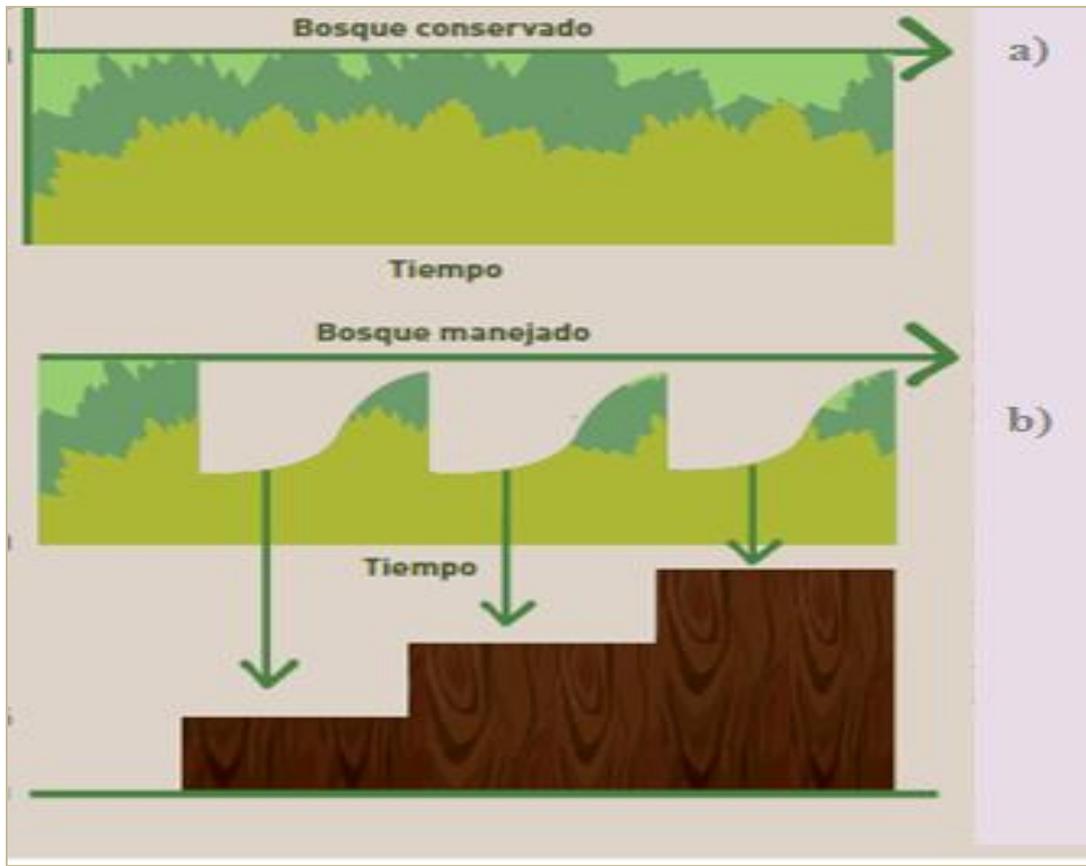
El Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sustentable (CCMSS, 2010) señala que contrario a lo que se piensa normalmente, los bosques manejados de forma sostenible para la producción maderable y no maderable capturan más carbono que otras opciones debido a que:

- Simultáneamente se conserva y enriquece la cobertura forestal manteniendo los almacenes de carbono.
- Si el manejo sostenible se expande a bosques degradados, es posible generar nueva capacidad de captura y almacenamiento de carbono.
- Se maximiza la captura de carbono a través de un mejor manejo de las pirámides de edad de las poblaciones forestales.
- Se encapsula el carbono durante largos periodos de tiempo por el uso de la madera como materia prima para la fabricación de bienes o la recuperación de la cobertura forestal.

- Se generan incentivos económicos para que las comunidades locales conserven la cobertura forestal.
- Debido a que los dueños o poseedores de los bosques obtienen beneficios económicos y ambientales, se controla el pastoreo, se previenen y combaten de manera permanente a las plagas e incendios forestales, favoreciendo la conservación del recurso.

Estos mismos autores afirman que un bosque manejado es más eficiente para la captura y almacenamiento de carbono que un bosque conservado sin manejo, las razones que se muestran en la figura 1.1. se toma como ejemplo un bosque conservado (a), donde la cantidad de carbono contenida en un sumidero forestal corresponde a 150 tC/ha se conservan de forma más o menos constante a través del tiempo sin fugas permanentes. Mientras que en un bosque manejado (b), la cantidad de carbono en el sumidero forestal alcanza las 145 tC/ha, de las cuales 85 tC/ha se reducen periódicamente al cosechar la madera. Las 85 tC/ha contenidas en la madera cosechada se transforman en productos de larga duración, por lo que al repetir las cosechas se acumula de manera creciente una reserva de carbono forestal fuera del bosque.

Al pasar el tiempo, se conserva y mejora el bosque, que sigue creciendo y capturando carbono, a la vez que se conserva la madera producida. Por ello, con un bosque manejado se captura más carbono que al conservar el bosque sin intervención. Situación que se debe a que el bosque manejado de forma sostenible captura carbono mientras crece, y al ser cosechado gran parte de ese carbono permanece encapsulado en los productos maderables de larga duración.



Fuente: Challenger, citado por CCMSS (2010)

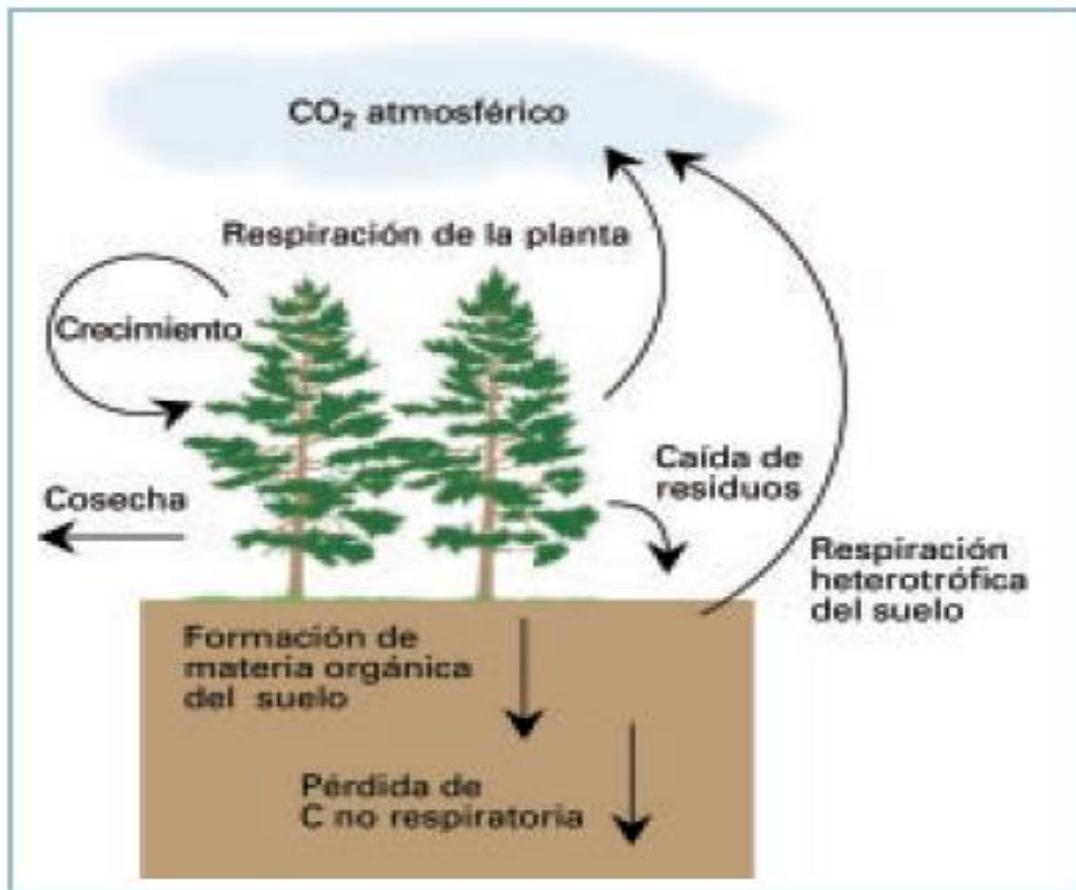
Figura 1.1 Comparación de los efectos del manejo de un bosque y un bosque conservado

Cuando este proceso se repite a lo largo del tiempo, con numerosas cosechas, el cúmulo de carbono secuestrado por los bosques vivos y encapsulado en los productos maderables es mayor que el carbono que puede capturarse en áreas forestales de conservación sin manejo, donde los árboles permanecen indefinidamente.

1.3.2 El ciclo del carbono

Este funciona básicamente a través de la fotosíntesis, la respiración, las emisiones por quema de combustibles fósiles y fenómenos naturales (Figura 1.2). Ordoñez

(1999), menciona que el ciclo del carbono es el responsable de la cantidad de CO_2 contenido en la atmósfera, ya que es el mecanismo que equilibra las cantidades de carbono presentes en los diferentes reservorios o almacenes de carbono en el planeta. Como consecuencia se establece todo un balance de carbono a través de procesos fijadores/almacenadores de carbono y otros que a su vez lo emiten.



Fuente: Percy *et al.* 2003

Figura 1.2 El ciclo de carbono en los bosques

Oliva y García-Oliva (1998), señalan que en los ecosistemas terrestres, la vía más importante del flujo de carbono atmosférico a la vegetación y el suelo es biológica, por medio de la fotosíntesis y la descomposición, respectivamente.

Este flujo involucra muchos procesos interactuantes, los cuales mantienen el equilibrio dinámico del intercambio de gases atmósfera-planta-suelo. Estos mismos autores mencionan que la incorporación del carbono al ciclo biológico se da por medio de la fotosíntesis que produce energía bioquímica para los procesos fisiológicos y de formación de materia biológica (biomasa) a partir del CO₂ que es tomado directamente de la atmósfera y su asimilación por la planta es conocida como fotosíntesis bruta. Pero no todo el CO₂ asimilado es transformado a biomasa, sino que parte de ésta se regresa a la atmósfera por medio de la respiración que se lleva a cabo durante los procesos fisiológicos. El carbono fijado por las plantas se transforma en moléculas móviles, que se asignan a las diferentes estructuras de la planta para satisfacer sus demandas fisiológicas y estructurales. Esta asignación determina las rutas por las cuales se dará posteriormente el flujo de carbono al suelo. Cada especie de planta asignará más o menos carbono para producir biomasa en la parte aérea o en la parte subterránea. Por ejemplo, la biomasa subterránea en la selva estacional representa entre 40 y 50 % de la biomasa total, mientras que en el bosque templado y la selva húmeda, la biomasa subterránea representa menos del 15% (Castellanos *et al.*, 1996).

La incorporación de carbono al suelo en los ecosistemas naturales se da por dos vías principales: por el mantillo (capa superficial de materia vegetal) y por la biomasa radicular. La velocidad de la descomposición de este material depende de las poblaciones microbianas del suelo y de las características del material vegetal. Cuando el material llega al suelo, primero van a ser descompuestas las

formas más sencillas aumentando la actividad microbiana y posteriormente serán degradados los compuestos más complejos con una menor velocidad y actividad microbiana. Esto sugiere que la entrada de carbono nuevo al mantillo y al suelo es muy importante para mantener activas a las poblaciones microbianas. Esta incorporación de carbono nuevo es por medio de la vegetación, por lo que la producción y la fenología son otros mecanismos que controlan el flujo de carbono atmósfera-plantas-suelo (Oliva y García-Oliva, 1998).

1.3.3 El carbono en los árboles

Las plantas son formas de vida basadas en el carbono, estas utilizan energía solar para obtener el carbono que es necesario en la química de las células. Los árboles absorben CO₂ a través de los estomas en sus hojas y particularmente por la noche, los árboles emiten más CO₂ del que absorben a través de sus hojas.

Una vez que el CO₂ 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). El árbol al crecer va incrementando 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 CO₂ al entorno (Ordóñez, 1998 y 1999). Así mismo, de manera simultánea los troncos, al ir incrementando su diámetro y altura, alcanzan

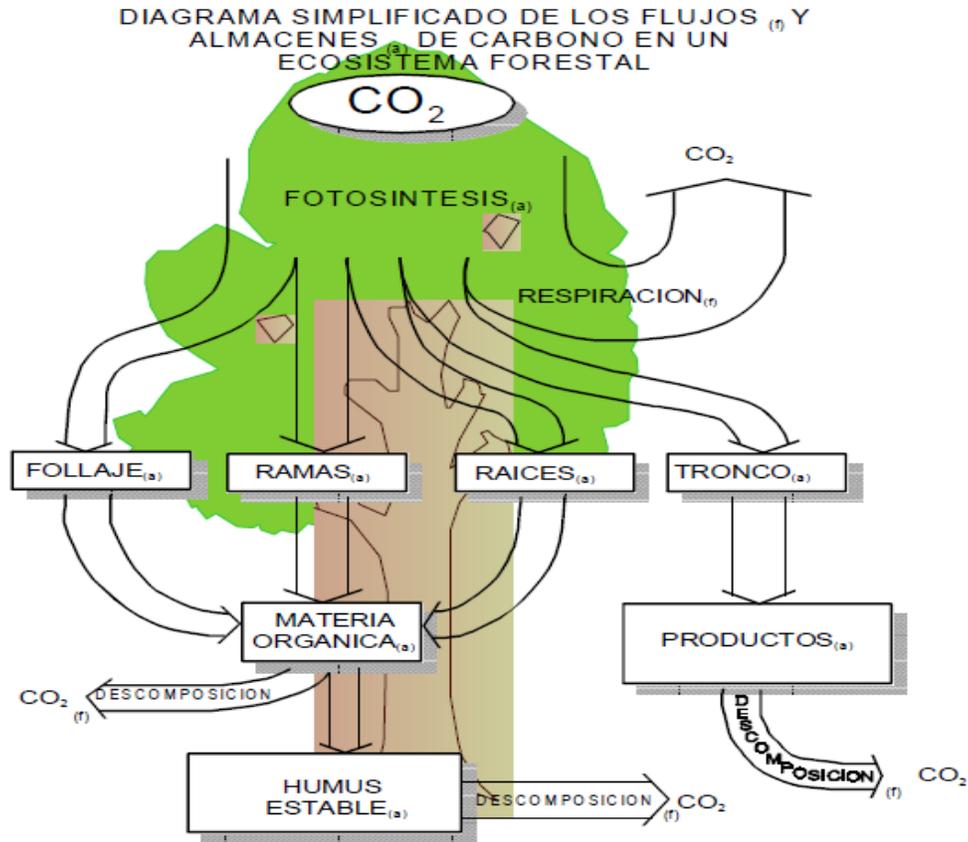
un tamaño tal que puedan ser aprovechados con fines comerciales. De este aprovechamiento se extraen productos como: tablas, tablonos y polines, que darán origen a subproductos elaborados como muebles y casas. Estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado después del cual se degradan aportando carbono al suelo y CO_2 producto de su descomposición a la atmósfera. Durante el tiempo en que el carbono se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es remitido 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.

En la figura 1.3 se representan los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal, donde el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, los productos y el humus estable son almacenes de carbono, mismos que se reincorporarán al ciclo por descomposición y/o quema de la biomasa forestal.

Los bosques se destacan por su gran capacidad de fijar carbono en sus estructuras y de manera particular en una forma estable en la parte leñosa debido a su permanencia en el tiempo de acuerdo al uso que se le dé a la madera (Nakama *et al.*, 2003).

Una tonelada de carbono en la madera de un árbol o de un bosque, equivale a 3.5 toneladas aproximadamente de CO_2 atmosférico. Una tonelada de madera con 45% de carbono contiene 450 Kg de carbono y 1575 Kg de CO_2 (Alex, 2007).

Los árboles absorben CO_2 atmosférico junto con elementos en suelos y aire para convertirlos en madera que contiene carbono y forma parte de las diferentes estructuras del árbol que constituyen los reservorios de carbono (Figura 1.4).

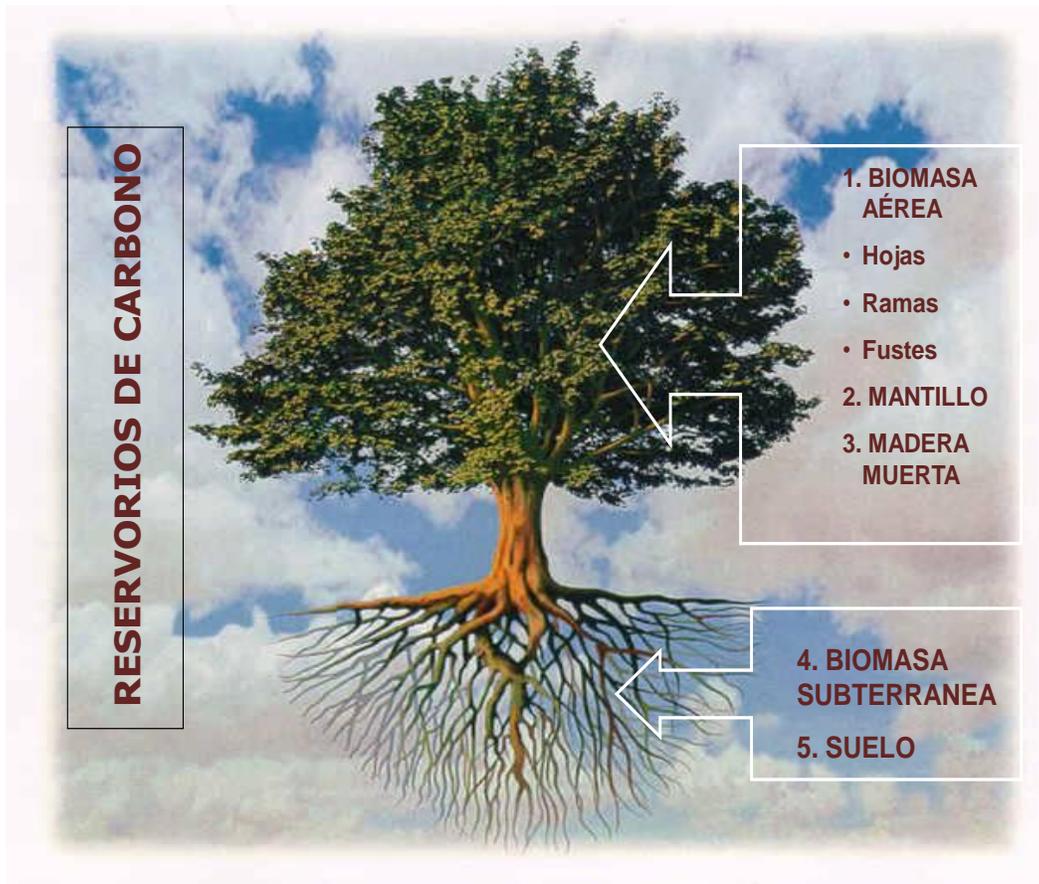


Fuente. Ordoñez 1999

Figura 1.3 Flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal

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.

Los árboles, al convertir el CO_2 en madera, almacenan muy lentamente sólo una pequeña parte del CO_2 que produce el ser humano en grandes cantidades por el uso de combustibles fósiles (petróleo, gasolina, gas, etc.) para el transporte y la



Fuente: IPCC, 1995

Figura 1.4 Reservorios de biomasa y carbono en un árbol.

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 CO₂ necesarias para su respiración y la de los suelos.

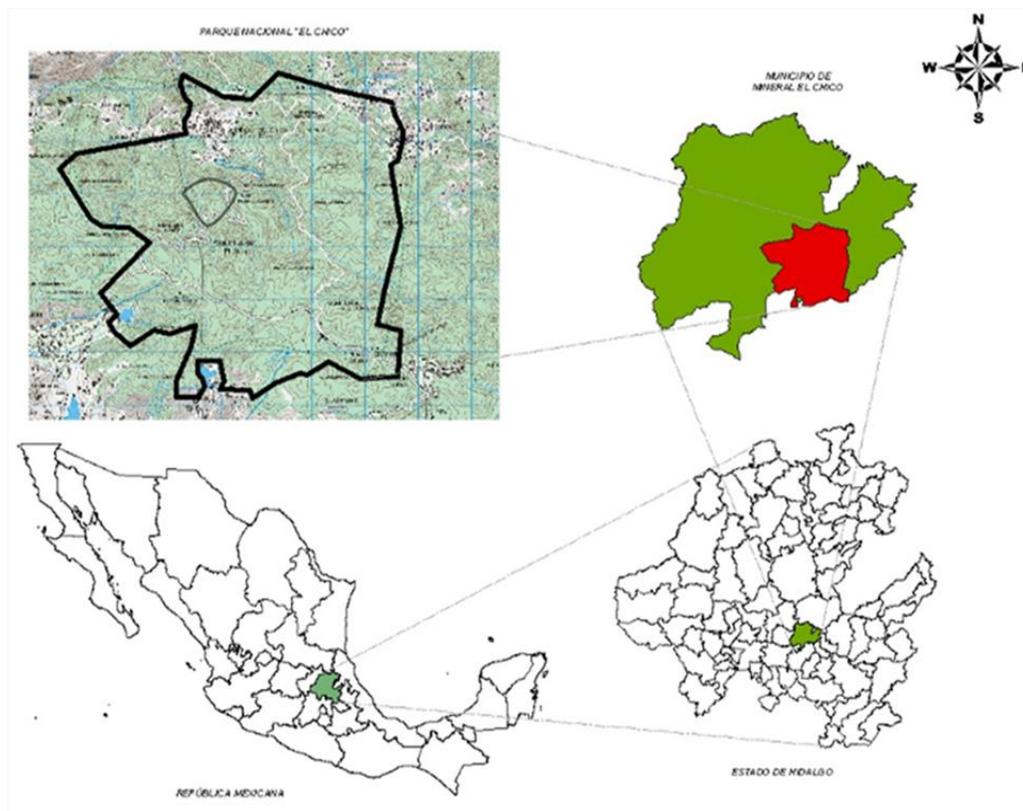
La captura de carbono en bosques y suelos es reversible. El carbono que tomó muchos años (décadas) para ser capturado y almacenado en troncos y ramas de árboles en los bosques podría quedar liberado en la atmósfera, debido a incendios forestales; manejo inadecuado de los bosques; cambios en el uso de suelo; plagas y enfermedades y por efectos del calentamiento global. De tal manera, el CO₂

regresaría a la atmósfera empeorando la situación actual que afecta negativamente las condiciones climáticas, la salud humana y la vida en el planeta.

1.4. UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.4.1 Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó dentro del Parque Nacional “El Chico” que se ubica en el municipio de Mineral El Chico a 24 km al noroeste de la ciudad de Pachuca, Hgo., en el extremo occidental de la Sierra de Pachuca, perteneciente a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, entre las coordenadas geográficas 20° 10' 10" a 20° 13' 25" de Latitud Norte y los 98° 41' 50" a 98° 46' 02" de Longitud Oeste (CONANP, 2005), comprende una superficie total de 2739 ha (Figura 1.5).



Fuente: Razo 2013

Figura 1.5 Ubicación del Parque Nacional “El Chico” y el área de estudio.

Dentro de la poligonal del parque se seleccionó una zona de 202.96 hectáreas que se ubica al extremo noroeste de la poligonal del Parque “El Chico”, donde se concentran las diferentes condiciones representativas del bosque de oyamel que se muestran en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Distribución de superficies del área de estudio

Área	Superficie en ha
Afectada drásticamente por los incendios forestales	30.34
Moderadamente alterada	60.61
Área conservada	112.01
Total del polígono	202.96

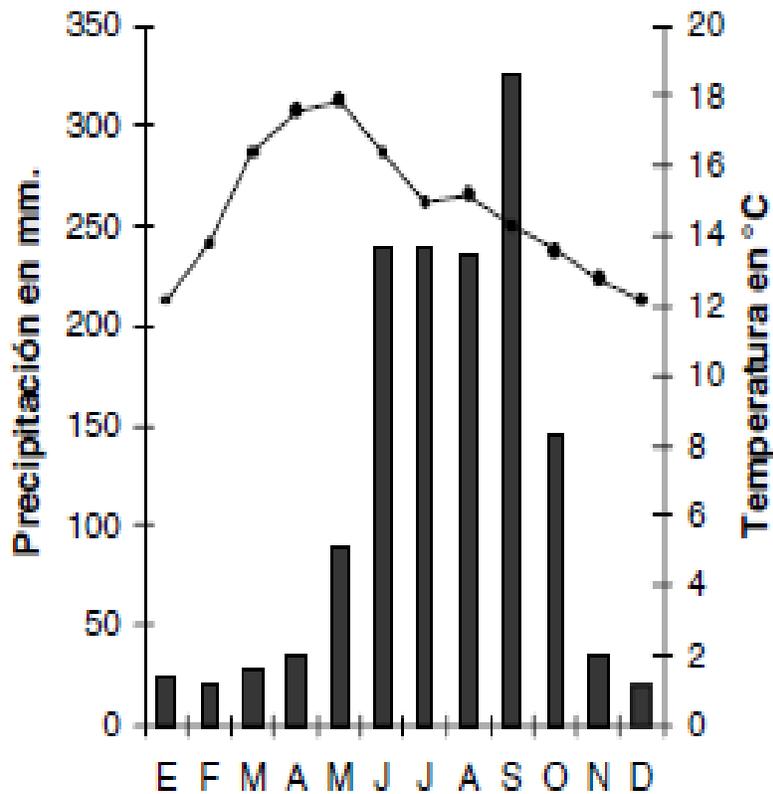
Fuente: Razo 2013

En referencia a la tabla anterior, en el área afectada fuertemente por los incendios forestales actualmente se tienen dos zonas, una donde se estableció la regeneración natural de oyamel y otra donde se hizo la introducción de especies exóticas.

1.4.2 Clima

Con base al sistema de Köppen modificado por García (1981), la zona donde se ubica el Parque Nacional, se caracteriza por presentar un clima, Cb (m) (w) (i´) gw cuyas características son: 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 una precipitación media anual de 1386 mm y un porcentaje de precipitación invernal respecto a la total anual inferior a 5%, con poca oscilación

térmica; marcha de la temperatura tipo Ganges y presencia de canícula (Figura 1.6).



Fuente: CONANP, 2005

Figura 1.6 Climograma de la estación meteorológica de Mineral el Chico, Hidalgo.

1.4.3 Fisiografía

El Parque Nacional “El Chico” está comprendido en la parte alta de la Sierra de Pachuca, que se considera como uno de los eslabones montañosos occidentales de la Sierra Madre Oriental. Esta sierra es una estructura orográfica alargada; su flanco oriental forma la vertiente del río Amajac y el valle de Tulancingo y al occidente la vertiente de la cuenca del valle de México y el valle de Actopan.

Respecto a las Provincias Fisiográficas, la Sierra de Pachuca se encuentra ubicada en la Provincia del Eje Neo volcánico.

Por su situación geográfica, el Parque Nacional “El Chico” se constituye como un mosaico de pendientes abruptas y escarpadas, franjas de escaso relieve y valles de considerable extensión. En él se localizan grandes elevaciones rocosas que destacan por sus formas raras y caprichosas en altitudes que fluctúan desde los 2500 a 3090 MSNM y grandes valles que enriquecen la belleza paisajística del Parque.

1.4.4 Hidrología

El Parque Nacional “El Chico” se localiza dentro de la cuenca D “Río Moctezuma” y la subcuenca S “Río Amajac”. Los escurrimientos que fluyen desde el parque en dirección norte alimentan al río Amajac, como afluente del sistema hidrográfico Moctezuma-Pánuco y forman los siguientes arroyos: Los Otates, ubicado en la porción central oriental del Parque, está formado por las corrientes de Peña Larga, Los Conejos, La Orosca, La Aguja y Las Piletas. El Pescado, está ubicado en la porción central del Parque, formado por las corrientes de El Agua Bendita, Los Negros, Los Ayacahuatles, El Panal, El Cuervo, Pajaritas y La Muñeca.

En lo que respecta a los escurrimientos que drenan hacia el sur, hacia la cuenca del valle de México, forman arroyos y manantiales localizados principalmente en las áreas turísticas de la parte sur del Parque, éstos fluyen hacia las presas de La Estanzuela, Jaramillo, y El Cedral.

1.4.5 Geología

De acuerdo con la carta geológica Pachuca F14-11 a escala 1:250 000 del INEGI (2000), las rocas que se encuentran en el área de estudio, tuvieron su origen en el periodo terciario superior; son ígneas extrusivas del tipo brecha volcánica y andesita. El afloramiento de las rocas sobre la superficie del suelo, formó figuras caprichosas que la gente del lugar les ha asociado nombre de acuerdo a su forma, tales como: El Mirador, Las Ventanas, El Cuervo, El Conejo, Las Goteras, Peña del Muerto, etc.

1.4.6 Edafología

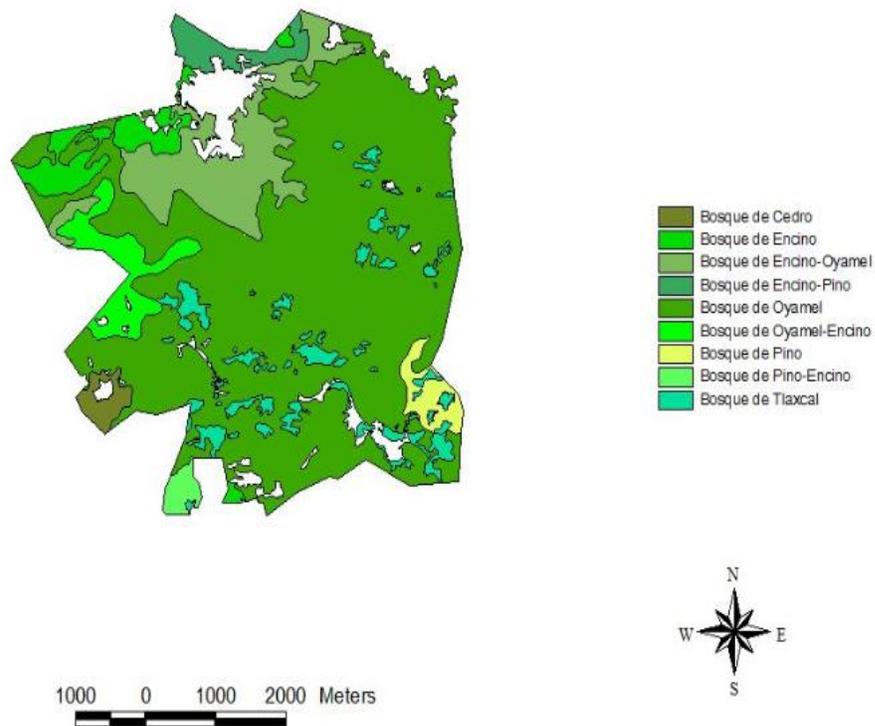
De acuerdo con la clasificación de la FAO en el Parque Nacional “El Chico” predominan los suelos de *Andosol humico* que se desarrollan en laderas de inclinación moderada a fuerte, asociados en su mayoría al bosque de *Abies*, *Quercus* y *Pinus*; en general estos suelos son de color oscuro, estructura suelta y esponjosa, ricos en materia orgánica aportada por la vegetación; estos residuos forman una capa gruesa que permite retener buena cantidad de agua de lluvia. Lo caracterizan sus propiedades ándicas como la presencia de materiales amorfos (alofano), densidad aparente baja, alto contenido de carbono orgánico, reacción del suelo ácido, buena retención de humedad y baja saturación de bases. Tiene problemas de fijación de fósforo, siendo normal la existencia de suelos enterrados, por lo general, tiene buen drenaje interno

1.4.7 Vegetación

Con base en los trabajos de Gallina *et al.* (1974); Medina y Rzedowski (1981) y Zavala (1995), en el Parque Nacional “El Chico”, se han descritos los tipos de

vegetación que se muestran en la figura 1.7, atendiendo a su fisonomía y la proporción de su cobertura:

bosque de oyamel (*Abies religiosa*), bosque de encino (*Quercus* spp.), bosque de encino-oyamel (*Quercus-Abies*), bosque de oyamel-encino (*Abies-Quercus*), bosque de pino (*Pinus* spp.), bosque de encino-pino (*Quercus-Pinus*) bosque de pino-encino (*Pinus-Quercus*), bosque de cedro (*Cupressus* spp.) y bosque de táscate o tlaxcal (*Juniperus monticola*).



Fuente: Razo 2013

Figura 1.7 Tipos de vegetación del Parque Nacional “El Chico”

El objeto de este estudio es el bosque de oyamel, que ocupa el 62.9 % de la superficie del Parque Nacional “El Chico” con 1725.4 ha; se distribuye desde los

2600 a los 3086 MSNM e indistintamente se establece en cualquier rango de inclinación, exposición del terreno, humedad edáfica, profundidad del suelo, etc. El oyamel sobresale por la forma cónica de sus árboles y sus alturas de 20 a 40 m, constituyendo una cobertura densa y siempre verde que domina en forma casi exclusiva el dosel superior.

Con los recorridos realizados en el bosque de oyamel del Parque, la identificación de ejemplares en campo y la colecta e identificación de ejemplares botánicos, las especies que integran este bosque son las siguientes:

Estrato arbóreo está conformado principalmente por *Abies religiosa* “oyamel”; *Alnus firmifolia* “aile”; *Prunus serotina* “capulín”; *Pseudotsuga macrolepis* “oyamel colorado”; *Quercus laurina* “encino hoja de laurel”; *Quercus rugosa* “encino hoja ancha”; *Quercus glabrescens* “encino blanco”; *Quercus crassifolia* “tecomate”; *Quercus candicans* “encino”; *Sambucus mexicana* “sauco” y *Taxus globosa* “romerillo”. Mientras que el estrato arbustivo está integrado por *Arbutus glandulosa* “madroño”; *A. xalapensis* “madroño”; *Arctostaphylos pungens* “pingüica”; *Baccharis conferta* “escoba o hierba del carbonero”; *Ceanothus coeruleus*; “chaquira morada”; *Eupatorium glabratum* “chamisa”; *Fuchsia microphylla* “aretillo chaparro”; *Juniperus monticola* “tláxcal”; *Litsea glaucescens* “laurel”; *Ribes affine* “chagua”; *Salvia elegans* “mirto”; *Senecio angulifolius* “gordolobo”; *Symphoricarpus microphyllus* “aretillo”; *Fucrea bendinghaussii* “sishe”; entre otras. Las especies que representan el estrato herbáceo son *Asplenium monanthes* “palmilla”; *Cirsium ehrenbergii* “cardo”; *Conopholis alpina* “mazorquilla”; *Fragaria mexicana* “fresita”; *Monotropa uniflora* “flor de tierra”; *Penstemon hartwegii* “cántaro doble”; *Senecio*

sanquisorbae “rabanillo”; *Sigesbeckia jorullensis* “pegarropa” y *Senecio platanifolius* “hierba del zopilote”.

De acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 las especies *Pseudotsuga macrolepis*, *Taxus globosa* y *Litsea glaucescens* están señaladas como en peligro de extinción y *Fucrea bendinghaussii* como Amenazada.

1.4.8 Fauna silvestre

En el Parque Nacional “El Chico” se distribuyen mamíferos pequeños (CONANP, 2005) como ratón (*Peromyscus difficilis*); rata de campo (*Neotoma mexicana*); conejo (*Sylvilagus cunicularius*); murciélago (*Plecotus mexicanus*); tuza (*Geomys bursarius*); y ardilla (*Sciurus oculatus*). Entre los mamíferos medianos está el armadillo (*Dasypus novemcinctus*); tlacuache (*Didelphis virginiana*); zorrillo (*Mephitis macroura*); coyote (*Canis latrans*); y cacomixtle (*Bassariscus astutus*). La zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) es uno de los mamíferos más abundantes, el cual se distribuye en todo el parque.

Las aves más abundantes del Parque son el chipe rey cejidorado (*Basileuterus belli*); primavera (*Turdus migratorius*); pipilo (*Pipilo erythrophthalmus*); ojos de lumbré (*Junco phaenotus*) y chipe negriamarillo (*Dendroica occidentales*).

Entre las especies de anfibios se encuentran las ranas (*Hyla plicata*); salamandras (*Chiropterotriton dimidiatus*, *Ch. multidentatus*, *Pseudoeurycea belli* y *P. cephalica*). Mientras que entre reptiles se encuentran los escorpiones (*Abronia taeniata* y *Barisia imbricata*); lagartijas (*Phrynosoma orbiculare* y *Sceloporus grammicus*); culebras (*Thamnophis cyrtopsis*, *T. scalaris* y *T. scaliger*) y víbora de cascabel (*Crotalus triseriatus*).

1.4.9 Poblaciones inmersas en el Parque Nacional “El Chico”

El Parque Nacional “El Chico” se encuentra comprendido en tres Municipios: Mineral el Chico, Pachuca y Mineral del Monte. Existen siete comunidades rurales caracterizadas por una amplia diversidad; como tipo de tenencia de la tierra (federal, estatal, ejidal, comunal y privada) y las actividades directas e indirectas que ejercen sobre los recursos naturales del Parque Nacional.

Respecto a la distribución de las comunidades, solo una se encuentra en su totalidad dentro del parque que es la Cabecera Municipal de Mineral del Chico, la cual desde el primer decreto de protección quedó dentro del área y se sitúa al norte de ésta. La única comunidad que incluye una parte dentro del parque es la comunidad de Carboneras, debido al crecimiento de su población en los últimos años. Mientras que las otras comunidades se encuentran fuera del Parque Nacional. En la tabla 1.2 se citan las siete comunidades que existen dentro y periferia del Parque con los datos obtenidos del Censo de Población y Vivienda 2010.

Tabla 1.2. Municipios y localidades del Parque Nacional “El Chico”.

Municipio	Población total en el municipio	Comunidad	Población de la comunidad
Mineral el Chico	7980	Mineral el Chico	481
		La Estanzuela	1847
		Carboneras	1226
		El Puente	246
		La Presa	187
Mineral del Monte	13864	Pueblo Nuevo	753
Pachuca	267862	El Cerezo	1981
Total	277226		6721

Fuente: INEGI, 2010

En lo que se refiere a la población ocupada por sector económico 2282 habitantes son económicamente activos (representan el 33.95% del total), de los cuales el 13.98% se dedica a actividades primarias, el 41.18% al sector secundario y el 42.17% al sector terciario; el resto no especifica su actividad económica (2.67%).

Los 4439 habitantes restantes (66.05%) no se encuentran reportados en actividades formales de trabajo, lo cual indica su alta estacionalidad y movilidad hacia los centros de consumo y servicios como la Ciudad de México y Pachuca, existiendo además una considerable emigración hacia los Estados Unidos de Norteamérica.

El sector primario es el de menor desarrollo ya que actividades como la agricultura y la ganadería extensiva, se ven limitadas por la disposición de espacio para desarrollar esta práctica, mas sin embargo, son actividades arraigadas entre las comunidades de la zona. Entre los principales cultivos se encuentra el maíz, cebada, calabaza, chilacayote, haba, frijol mismos que son de autoconsumo; respecto al ganado son especies de traspatio, con un reducido número de cabezas (máximo siete), encontrando, ovinos, caprinos y bovinos que proporcionan alimento complementario.

La actividad forestal ha sido importante en la región por el volumen de madera extraída en los terrenos colindantes al Parque Nacional "El Chico", la recolección de leña y productos no maderables como hongos, laurel, tierra de monte, plantas comestibles y medicinales, que son complementarias en el gasto familiar, aunque la extracción de la mayoría de estos productos, se realiza de manera ilegal.

1.5 LITERATURA CITADA

- Acosta M. M. 2001. Un método para la medición del carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México. INIFAP-Colegio de Postgraduados. México. 11 p.
- Alex. J. 2007. Captura de carbono-CO₂. Disponible en: <http://www.textoscientificos.com/node/887>.
- Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sustentable (CCMSS). 2010. El manejo forestal sostenible como estrategia de combate al cambio climático. México. 40 p.
- Castellanos B. J.F., A. Velázquez M., J. Vargas H., C. Rodríguez F. y A. Fierros G. 1996. Producción de biomasa en un rodal de *Pinus patula*. *Agrociencia* 30: 123-128.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2005. Programa de conservación y manejo del Parque Nacional El Chico. México. 236 p.
- Dixon R. K., S. Brown, R. A. Houghton, A. M. Solomon, M. C. Trexler y J. Wisniewski. 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, 263, 185-190.
- Gallina T. M. P., A. González R., R. C. Mountal F. y G. C. Tello S. 1974. Bases para la reestructuración del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. Tesis Profesional. UNAM. México. 114 p.
- García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía UNAM. México. 166 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2000. Carta geológica Pachuca F14-11 escala 1:250,000.
- INEGI. 2011. Censo de población y vivienda 2010. Aguas Calientes, México.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). 1995. Climate change. The supplementary report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jandl. R. 2001. Medición de tendencias en el tiempo del almacenamiento de carbono del suelo. Centro de Investigación Forestal. Viena. Austria. 12 p.
- 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.

- Oliva M. y F. García-Oliva. 1998. Un nuevo campo de acción en la química biológica: parte I. Generalidades sobre el cambio global. UNAM. México.
- Ordoñez A. 1998. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Profesional, Facultad de Ciencias. UNAM. México D.F. 72 p.
- Ordoñez A. 1999. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAP. México.
- Percy K.E., R. Jandl, J.P. Hall y M. Lavigne. 2003. El papel de los bosques en ciclo, la captura y el almacenamiento de carbono. Boletín Número 1. IUFRO.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Norma
- Tivo F. Y. y L. G. Iglesias A. 2006. Pulmones de México: los bosques de oyamel. Revista La Ciencia y el Hombre 19(3): 47-48.
- Zavala Ch. F. 1995. Encinos Hidalguenses. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. 133 p.

CAPÍTULO 2

2. COEFICIENTES DE CARBONO PARA ARBUSTOS Y HIERBAS DEL BOSQUE DE OYAMEL DEL PARQUE NACIONAL “EL CHICO”, HIDALGO

RESUMEN

El bosque de “oyamel” *Abies religiosa*, no solo está formado por árboles, comprenden una mezcla de especies, por lo general demandantes de luz y de rápido crecimiento que realizan el intercambio de CO₂ con la atmósfera y permiten la formación temprana de un reservorio de carbono, tal situación fue la que motivó la realización de este trabajo con el objetivo de determinar el coeficiente de carbono para las especies que conforman los estratos arbustivo y herbáceo del bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”. Se seleccionaron 24 especies de arbustos y 17 herbáceas, de cada una se tomó una muestra compuesta de sus componentes aéreos, las cuales se secaron y pulverizaron para ser analizados con el equipo Solids Toc Analyzer. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre las especies arbustivas, herbáceas y entre ambas, *Juniperus monticola* presentó el mayor coeficiente de carbono (0.54) y *Senecio planifolius* el menor (0.41), se obtuvo un coeficiente promedio de 0.45 para arbustos. En hierbas, *Notholaena sinuata* obtuvo el coeficiente de carbono de 0.50 mientras que *Anagalis arvensis* tuvo el coeficiente menor (0.38), el coeficiente promedio para hierbas fue de 0.43, resultando estos coeficientes de carbono inferiores al 0.50 que sugieren algunos autores y el IPCC cuando no se dispone de coeficientes específicos para cada especie. Se concluye que los arbustos del

parque presentan mayor contenido de biomasa y carbono en comparación con el estrato herbáceo, este último realiza un aporte continuo de materia orgánica y carbono al suelo.

Palabras clave: Arbustos, bosque de oyamel, biomasa, coeficientes de carbono, hierbas, materia orgánica.

ABSTRACT

The forest of "fir" *Abies religiosa*, not only consists of trees, comprising a mixture of species, usually light demanding and fast growing that perform the exchange of CO₂ with the atmosphere and allow the early formation of a reservoir of carbon, such a situation was what prompted us to conduct this study in order to determine the carbon coefficient for the species of the shrub and herbaceous layers fir forest National Park "El Chico". We selected 24 species of shrubs and 17 herbaceous each composite sample was taken from his air component, which are dried and pulverized to be analyzed with the team Solids Analyzer Toc. The analysis of variance showed significant differences ($P \leq 0.01$) among the shrubs, herbaceous and between the two, *Juniperus monticola* had the highest carbon ratio (0.54) and *Senecio planifolius* the lowest (0.41), we obtained an average ratio of 0.45 for shrubs. In herbs, *Notholaena sinuata* carbon coefficient obtained 0.50 while *Anagalis arvensis* had the lowest coefficient (0.38), the average ratio was 0.43 herbs resulting carbon these coefficients less than 0.50 suggesting some authors and IPCC when no specific coefficients are available for each species. We conclude that the shrubs of the park have higher biomass and carbon content compared to the herbaceous layer, the latter performs a continuous supply of organic matter and soil carbon.

Key words: Shrubs, fir forest, biomass, carbon coefficients, herbs, organic matter.

2.1 INTRODUCCIÓN

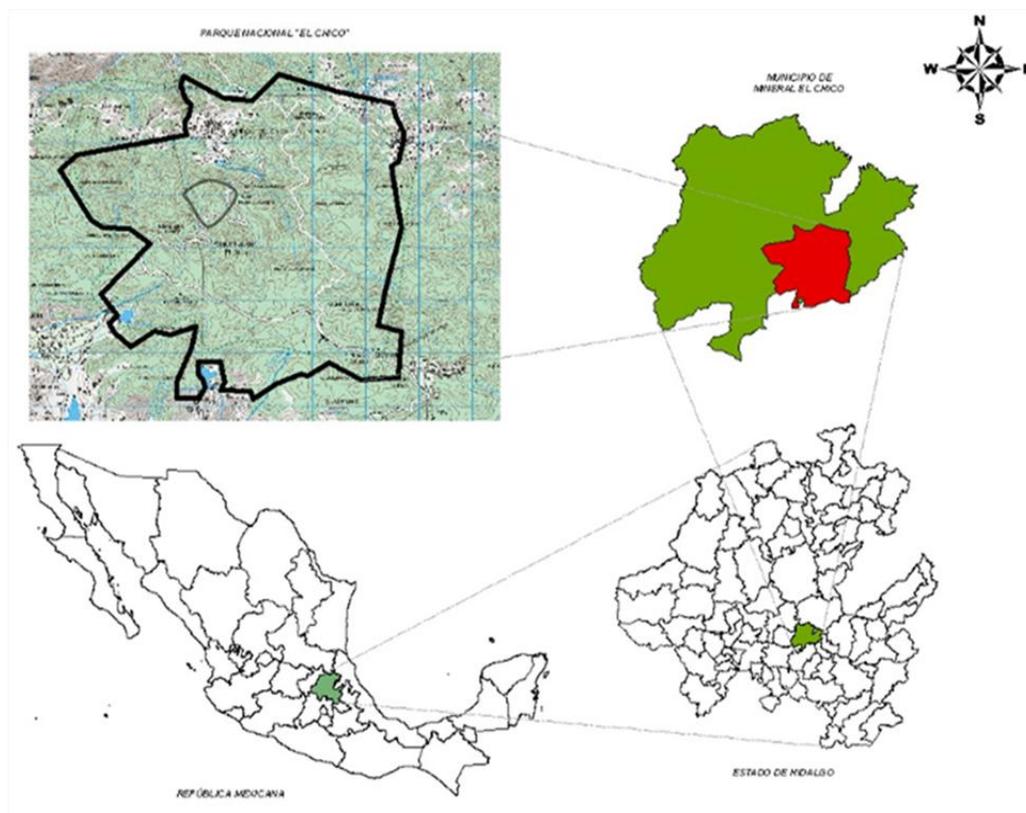
Los bosques de oyamel del Parque Nacional “El Chico”, al igual que otros tipos de vegetación capturan, almacenan y liberan carbono como resultado de los procesos fotosintéticos, de respiración y de degradación de materia seca (Tipper, 1998). En estos ecosistemas el carbono queda retenido en la biomasa viva, en la materia orgánica en descomposición y en el suelo (Nakama *et al.*, 2003). Es por eso, que el cálculo de biomasa es el primer paso para evaluar la productividad de los ecosistemas y la contribución de los bosques en el ciclo global del carbono (Castañeda *et al.*, 2005).

Estos ecosistemas albergan especies de gran interés para la economía nacional, especies de alta importancia para la vida cotidiana, especies cruciales para la cultura de las comunidades y especies endémicas de gran relevancia para la ciencia (Sánchez *et al.*, 2003). Dicho ecosistema no solo está formado por árboles, comprende una mezcla de especies, por lo general demandantes de luz y de rápido crecimiento que permiten la formación temprana de un reservorio de carbono (Gómez-Pompa y Vázquez-Yanes, 1981) y que también cumplen una función fisiológica importante en el intercambio de CO₂ entre la planta y la atmósfera. Con excepción de algunos arbustos leñosos y semileñosos, por la naturaleza misma de las especies, la cantidad de biomasa y contenido de carbono son bajos en comparación con el carbono almacenado en las partes leñosas de los árboles, pero no menos importantes si consideramos que muchas de estas especies son caducifolias y realizan un aporte continuo de biomasa y nutrientes al suelo que favorecen el desarrollo de las mismas y de otras especies y el almacén de carbono en el suelo. Por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar el

coeficiente de carbono para las especies que conforman los estratos arbustivo y herbáceo del bosque de oyamel en el Parque Nacional El Chico, en el estado de Hidalgo.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó dentro del Parque Nacional “El Chico” que se ubica en el extremo occidental de la Sierra de Pachuca (Figura 2.1), entre las coordenadas geográficas extremas de los 20° 10' 10" a 20° 13' 25" de latitud Norte y los 98° 41' 50" a 98° 46' 02" de longitud Oeste, comprende una superficie total de 2739 ha (CONANP, 2005).



Fuente: Razo 2013

Figura 2.1. Ubicación geográfica del Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo.

Con base al sistema de Köppen modificado por García (1981), en el Parque Nacional se presenta un clima C (m) (w) b (i') gw" que corresponde a un templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual oscila entre 12 y 18 °C, existiendo influencia de monzón y presentándose un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 % de la total anual. El verano es fresco y largo, con inviernos fríos con poca oscilación térmica y presencia de canícula. El tipo de roca predominante es ígnea extrusiva del tipo brecha volcánica y andesita. Los suelos predominantes son del tipo *Cambisol humico*, *Regosol districo* y *Andosol humico* de textura media. La vegetación en la mayor parte del parque está formada por bosques de oyamel, con distintas condiciones de productividad. Las principales especies arbóreas son *Abies religiosa* (HBK.) Cham. & Schl., *Quercus spp.* y *Pseudotsuga macrolepis* Flous., (CONANP, 2005). La información florística correspondiente a los estratos arbustivos y herbáceos del bosque de oyamel se obtuvo mediante la aplicación del método de barrido; que consistió en recorrer minuciosamente el bosque de oyamel, colectando muestras botánicas de las especies de arbustos y hierbas que se encontraran en floración y/o fructificación para facilitar su identificación. En el caso de los arbustos leñosos y semileñosos se colectó una muestra adicional del tallo para formar una muestra compuesta de biomasa. El material botánico colectado, se llevó al herbario del Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales del Instituto de Ciencias Agropecuarias-UAEH ubicado en la ciudad de Tulancingo, para su secado e identificación.

2.2.1 Colecta de muestras en campo y preparación en laboratorio

Para cada una de las especies de arbustos y hierbas se tomó una muestra de flores, frutos, hojas, ramas y tallo y se colocaron en bolsas de papel previamente

etiquetadas, realizando algunos orificios en las bolsas que contenían partes carnosas para facilitar su secado. Las bolsas se colocaron en una estufa de secado con flujo de aire a una temperatura de 100 °C hasta alcanzar un peso constante en las muestras. Posteriormente en cada especie se tomaron 5 g de flores, frutos, hojas, ramas y de tallo con corteza para formar una muestra compuesta al ser pulverizada en un molino tipo mortero. Se depositaron en bolsas de plástico etiquetadas hasta que fueron utilizadas para la determinación de la concentración de carbono.

2.2.2 Determinación de carbono y análisis estadístico

Las muestras compuestas previamente pulverizadas por especie se pusieron en la estufa de secado por 15 minutos a temperatura de 65 °C para eliminar la humedad que hubiera adquirido durante su almacenamiento, para determinar el coeficiente de carbono se utilizó el Solids Toc Analyzer[®] a través de la combustión de la muestra y mediante una cámara de rayos infrarrojos que detectan las partículas de CO₂ se obtiene el coeficiente de carbono que contiene la muestra. Se pesaron muestras de 20 mg para ser analizadas con el Solids Toc Analyzer, y para obtener un promedio se analizaron cinco submuestras de la muestra compuesta. Con los datos obtenidos del coeficiente de carbono por especie, se realizó un análisis de varianza tradicional (ANOVA) para determinar las diferencias estadísticas entre especies de cada estrato y entre ambos estratos. Mediante la prueba de medias Tukey se agruparon las especies por coeficiente de carbono en los estratos evaluados.

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

El bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico” muestra un estrato arbustivo y herbáceo diverso cuyo grado de desarrollo depende de las condiciones micro ambientales del sitio y de la presencia de algunos fenómenos naturales o causados por el hombre. En los recorridos de campo se observaron algunos claros en el bosque producto de disturbios que provocaron el establecimiento y desarrollo de manera agresiva del sotobosque (Figura 2.2).



Fuente: Razo 2013

Figura 2.2. Estratos arbustivo y herbáceo del bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo.

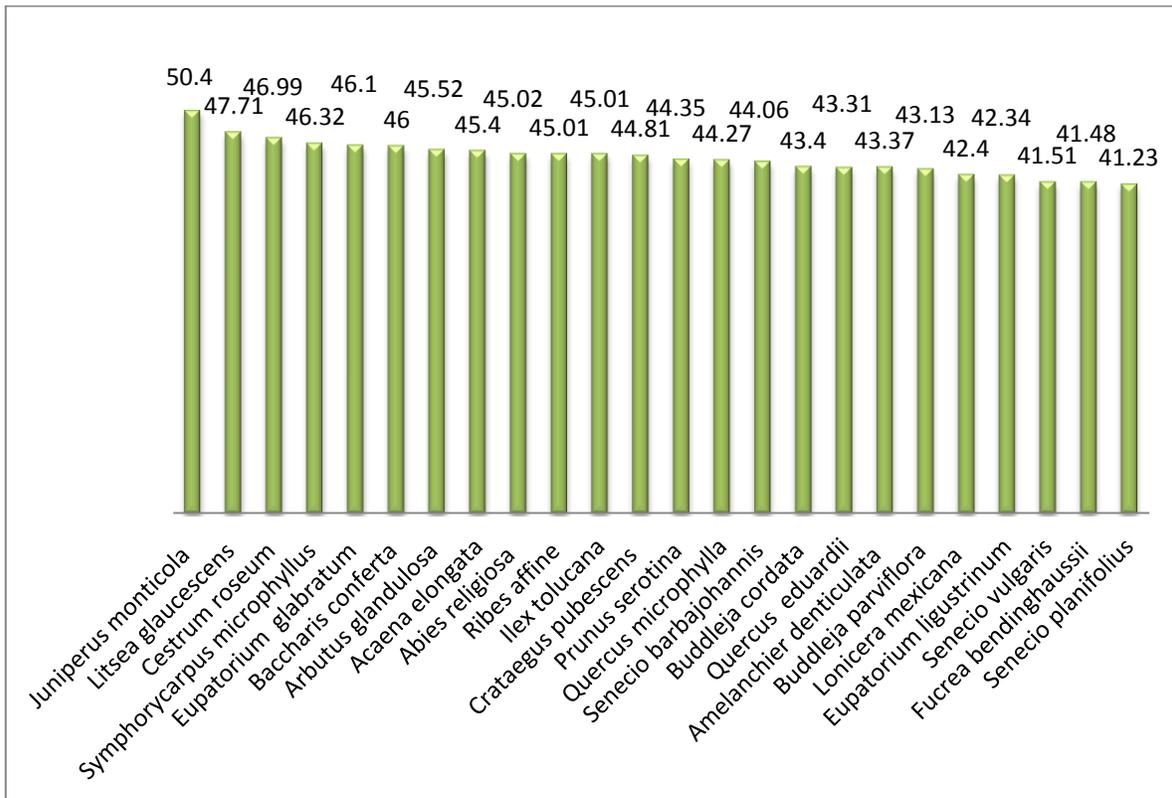
Las especies colectadas e identificadas para el estrato arbustivo fueron las siguientes: *Abies religiosa* (HBK.) Cham. & Schl., *Acaena elongata* L., *Amelanchier*

denticulata (HBK.) Koch, *Arbutus glandulosa* Mart. & Gal., *Baccharis conferta* HBK., *Buddleja cordata* HBK., *Buddleja parviflora* HBK., *Cestrum roseum* HBK., *Crataegus pubescens* (HBK.) Steud., *Eupatorium ligustrinum* DC., *Eupatorium glabratum* HBK., *Fucrea bendinghaussii* C. Koch., *Ilex toluhana* Hemsl., *Juniperus monticola* Mart., *Litsea glaucescens* HBK., *Lonicera mexicana* (HBK.) Rehder., *Prunus serotina* (Cav.) Mc.Vaugh, *Quercus eduardii* Trel., *Quercus microphylla* Née, *Ribes affine* HBK., *Senecio barbajohannis* DC., *Senecio planifolius* Benth., *Senecio vulgaris* L., *Symphoricarpos microphyllus* HBK., mientras que en el estrato herbáceo se encontraron: *Adiantum lorentzii* Hieron, *Anagalis arvensis* L., *Cirsium ehrenbergii* Schl. Bip., *Deschampsia elongata* (Hook) Munro, *Eryngium carlinae* Delar. F., *Fragaria mexicana* Schl., *Lupinus montanus* HBK., *Notholaena sinuata* (Lag. ex Sw.) Kaulf., *Polypodium polypodioides* L., *Salvia gesneriflora* Lindl., *Salvia elegans* Vahl. , *Salvia microphylla* HBK., *Sedum praealtum* ssp. *parvifolium* Clausen., *Sedum moranense* ssp. *moranense* HBK., *Solanum nigrescens* Mart. & Gal., *Sonchus oleraceus* L. y *Trisetum altijugum* (Fourn.) Scribn.

2.3.1 Coeficientes de carbono de especies arbustivas

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.01$) entre las especies arbustivas en el coeficiente de carbono. La prueba de comparación de medias Tukey arrojó que la especie de *Juniperus monticola* presentó el mayor valor con 0.50 y *Senecio planifolius* el menor (0.41), habiendo una diferencia en el rango de 18.2 %, otra especie que tiene importancia ecológica para el Parque es el “laurel” *Litsea glaucescens* que en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 se encuentra catalogada como en peligro de extinción, la cual

después del *Juniperus* mostró un coeficiente de carbono de 0.48 por encima de otras especies arbustivas más comunes (Figura 2.3). El coeficiente promedio para los arbustos del Parque Nacional “El Chico” (0.45) es similar al (0.46) utilizado por Acosta (2003) para malezas en terrenos de ladera con vegetación forestal en la sierra norte de Oaxaca.



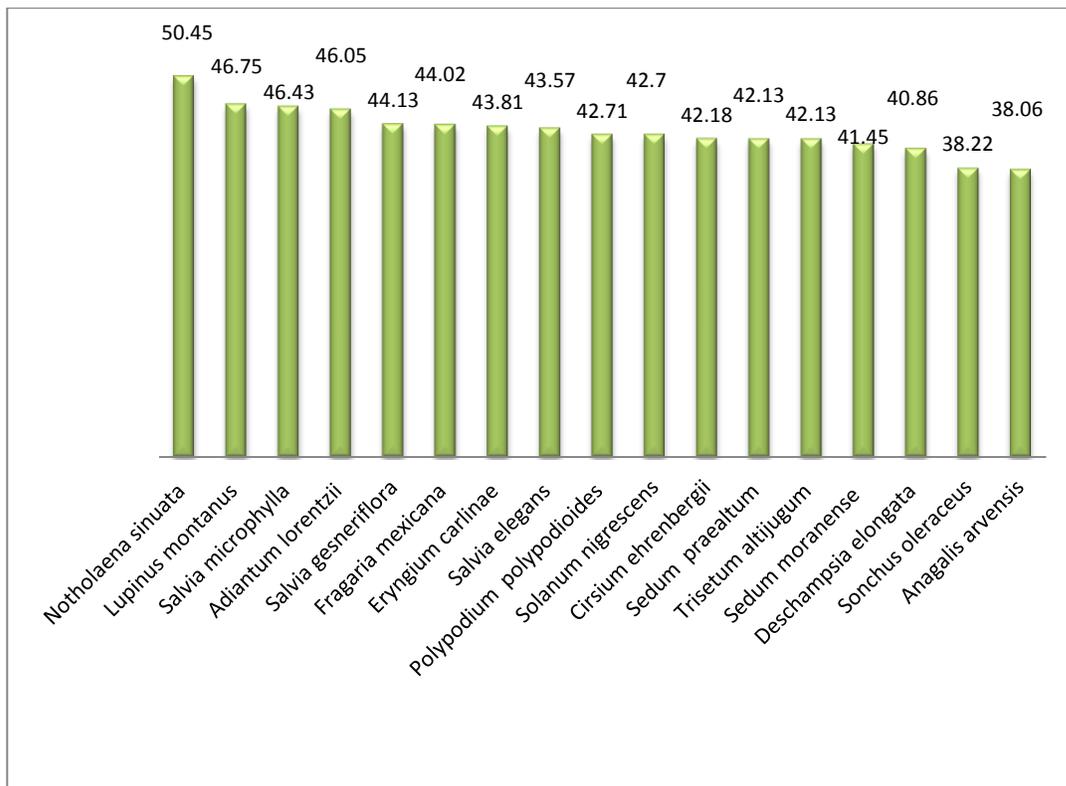
Fuente: Razo 2013

Figura 2.3. Coeficiente de carbono para 24 especies de arbustos del bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”.

La regeneración natural de oyamel en estado arbustivo del Parque Nacional “El Chico”, presenta un coeficiente de carbono de 0.45, valor muy cercano al 0.46 encontrado por Avendaño *et al* (2009) en arbolado adulto de la misma especie en el estado de Tlaxcala.

2.3.2 Coeficientes de carbono de especies herbáceas

El análisis de varianza realizado para los contenidos de carbono en las muestras de las especies que conforman el estrato herbáceo del bosque de oyamel, arrojó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.01$) entre el coeficiente de carbono de las especies. La prueba de comparación de medias Tukey mostró que una especie de helecho *Notholaena sinuata* presenta el mayor coeficiente de carbono en su biomasa con 0.50, mientras que *Anagalis arvensis* presenta el coeficiente menor con 0.38 (Figura 2.4).



Fuente: Razo 2013

Figura 2.4. Coeficientes de carbono para 17 especies herbáceas del Parque Nacional “El Chico”.

En el trabajo realizado por Acosta *et al.* (2002) el coeficiente de carbono en las hierbas de los pastizales presentó un amplio intervalo (0.25 a 0.42). Aunque el

contenido de carbono en las hierbas de Parque Nacional se concentra en un intervalo más reducido (0.38 a 0.50), el coeficiente promedio para el estrato arbustivo (0.43) es muy cercano al valor superior del intervalo utilizado por Acosta. Otros autores como Figueroa *et al.* (2005) encontraron que el coeficiente promedio de carbono en las hierbas más arbustos de los cafetales fue menor (0.41) que el de los bosques (0.47), pero ambos resultaron significativamente superiores al coeficiente de carbono en las hierbas de las praderas (0.35).

En el flujograma comúnmente utilizado para la medición de carbono almacenado en sistemas forestales, se recomienda utilizar el 0.50 como factor de conversión de biomasa a carbono para todos los arbustos y hierbas (Macdiken, 1997). En este trabajo, solo *Juniperus monticola* del estrato arbustivo y *Notholaena sinuata* de las herbáceas presentan valores cercanos al factor de conversión sugerido, por lo que de utilizarse de manera generalizada el 0.50 como factor de conversión, se estaría sobreestimando el contenido de carbono en la biomasa de las especies del sotobosque. Por esta razón, para el bosque de oyamel del Parque Nacional “El chico” y áreas aledañas, se recomienda utilizar los factores de conversión de biomasa a carbono obtenidos para cada especie o el factor promedio por estrato obtenidos en este estudio. (0.45 para arbustos y 0.43 para hierbas).

2.4 CONCLUSIONES

Algunas especies del estrato arbustivo del bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”, tales como *Juniperus monticola*, *Litsea glaucescens*, *Arbutus glandulosa*, *Buddleja cordata* y *Amelanchier denticulata* de manera natural tienden a mostrar alturas cercanas a los 4 metros y presentan una gran cantidad de ramas, por lo que su volumen, biomasa y el carbono almacenado son considerables en la zona. Otras especies del mismo estrato no presentan grandes alturas tales como *Baccharis conferta* y *Buddleja parviflora*, sin embargo dichas especies son pioneras que aparecen a altas densidades después de que se abre algún claro en el bosque producto de los incendios forestales y sirven de nodrizas a otras especies como el *Abies religiosa* que requieren de sombra para su establecimiento y desarrollo.

Aunque la cantidad de biomasa de las especies que conforman el estrato herbáceo es menor en relación a los otros estratos del bosque, el aporte de materia orgánica (biomasa y carbono) al suelo se realiza de manera continua por parte de las hierbas anuales y de manera directa proporcionan nutrientes para el desarrollo tanto de los arbustos como de los árboles; como es el caso de *Lupinus montanus* que fija nitrógeno atmosférico al suelo, favoreciendo con esto el desarrollo de árboles y arbustos corpulentos capaces de almacenar a lo largo de su vida, grandes cantidades de biomasa y carbono.

2.5 LITERATURA CITADA

- Acosta M., M. 2003. Diseño y aplicación de un método para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal y agrícolas de ladera en México. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillos, México. 135 p.
- Acosta M. M., J. Vargas H., J. D. Etchevers B. y A. Velázquez M. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 6:725-736.
- Avendaño H. D. M., M. Acosta M., F. Carrillo A. y J. D. Etchevers B. 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(3):233-238.
- Castañeda M. A., J. Vargas H., A. Gómez G., J. I. Valdez H. y H. Vaquera H. 2005. Acumulación de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Bambusa oldhamii*. *Agrociencia* 39: 107-116.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2005. Programa de conservación y manejo del Parque Nacional El Chico. México. 236 p.
- Figueroa N. C., J. D. Etchevers B., A. Velázquez M. y M. Acosta M. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamericana* 23(1): 57-64.
- García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía UNAM. México. 166 p.
- Gómez-Pompa, A. y C. Vázquez-Yanes 1981. Successional studies of a rain forest in Mexico. 246-266.
- Macdiken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock International. Arlington, USA. 87 p.
- 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.
- Sánchez O., E. Vega., E. Peters y O. Monroy-Vilchis. 2003. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. México. 315 p.
- Tipper R. 1998. Update on carbon offsets. *Tropical Forest Update.* 8(1):2-5.

CAPÍTULO 3

3. ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO ALMACENADO EN ÁRBOLES DE OYAMEL AFECTADOS POR EL FUEGO EN EL PARQUE NACIONAL “EL CHICO”, HIDALGO

RESUMEN

En el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo se efectuó un estudio con el objetivo de estimar la biomasa y el carbono aéreo almacenado en los árboles muertos en pie, en los árboles adultos vivos y el renuevo establecido en forma natural de *Abies religiosa* “oyamel” después de 12 años de ocurrido un incendio forestal de tipo superficial que afectó 30.34 ha. Se realizó un inventario forestal de 15 sitios circulares de 1000 m² distribuidos de forma sistemática, para medir las variables de diámetro normal y altura. Para determinar la biomasa se utilizó el valor de densidad de la madera de oyamel (360 kg/m³) y para el coeficiente de carbono se tomaron muestras que fueron analizadas con el equipo *Solids TOC Analyzer*[®], obteniendo un valor de 0.45. Las ecuaciones generadas para estimar la biomasa y carbono en árboles de *Abies religiosa* en un área afectada por un incendio forestal fueron $B=0.06463*DN^{2.38322}$ y $C=0.029083*DN^{2.38322}$ respectivamente, ambas mostraron un buen ajuste ($R^2=0.99$) por lo que son adecuadas y confiables para usarse en áreas siniestradas con condiciones similares, para la misma especie y región como Áreas Naturales Protegidas donde no es posible utilizar métodos destructivos. En las 30.34 ha siniestradas por el incendio forestal ocurrido en 1998 en el Parque Nacional “El Chico”, no se consumieron por el fuego un total de

665.05 toneladas de carbono que no fueron liberadas hacia la atmósfera. Sumándose una captura actual de 297.33 toneladas de carbono por el renuevo establecido a doce años de ocurrido el siniestro.

Palabras clave: Biomasa, carbono, *Abies religiosa*, incendio forestal.

ABSTRACT

In the National Park "El Chico", Hidalgo is a study with the objective to estimate the biomass and carbon air stored in the dead trees standing, in the trees live adults and seedling established in natural form of *Abies religiosa* "fir" after 12 years of a forest fire of superficial type that affection 30.34 hectares There was a forest inventory of 15 sites circular of 1000 m² distributed in a systematic way, in order to measure the variables of normal diameter and height. To determine the biomass used the density value of fir wood (360 kg/m³) and for the carbon coefficient the Solids TOC Analyzer[®], obtaining a value of 0.45. The generated equations to estimate the biomass and carbon in trees of *Abies religiosa* in an area affected by a forest fire were $B=0.06463 * DN^{2.38322}$ and $C=0.029083 * DN^{2.38322}$ respectively, showed a good adjustment by what they are adapted and reliable to be used in damaged areas by similar conditions, for the same species and region as Natural Protected Areas where it is not possible to use destructive methods. In 30.34 damaged hectares of the National Park "El Chico", there were not consumed by the fire a total of 665.05 tons of carbon. Adding a current capture of 297.33 tons of carbon by the seedling established to twelve years of a disaster.

Key words: Biomass, carbon, *Abies religiosa*, fire forest.

3.1 INTRODUCCIÓN

Los bosques y selvas capturan, almacenan y liberan carbono como resultado de los procesos fotosintéticos, de respiración y de degradación de materia seca, son considerados como los ecosistemas terrestres responsables de la mayor parte de los flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera (Tipper, 1998). El almacenamiento neto de carbono orgánico en los bosques depende del manejo dado a la cobertura vegetal, edad, distribución de tamaños, estructura y composición de ésta. El servicio ambiental que proveen éstos como secuestradores de carbono permiten reducir la concentración de este elemento en la atmósfera, misma que se incrementa debido a las emisiones producto de la actividad humana (Torres y Guevara, 2002).

En general, es aceptado que la tasa de fijación de carbono por medio de procesos de fotosíntesis es más alta en rodales jóvenes que en rodales maduros, pero el almacenamiento total de carbono en el sistema es mayor en los bosques maduros (Cadena y Ángeles, 2005), considerando que en los ecosistemas terrestres el carbono queda retenido en la biomasa aérea, mantillo, madera muerta, biomasa subterránea y en el suelo a través del tiempo (IPCC, 2000). De esta manera, los ecosistemas de bosques se destacan por su gran capacidad de fijar carbono en sus estructuras, de manera particular lo fijan en forma estable en la parte leñosa; así se ha estimado que los árboles en particular asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida (Ordóñez *et al.*, 2001) y en el fuste de un árbol completo es donde se almacena aproximadamente un 84% de biomasa de la cual el 46% es carbono (Avendaño *et al.*, 2009).

El escenario ideal para la fijación y almacenamiento de carbono por los bosques es aquel en el que las masas forestales se mantienen dinámicas mediante la incorporación constante de materia orgánica al suelo proveniente de los árboles adultos, mientras se va estableciendo la regeneración natural de las distintas especies y otros individuos jóvenes están en plena actividad fotosintética. Dicho escenario es susceptible a los efectos nocivos de algunos fenómenos naturales tales como incendios forestales, plagas, enfermedades y presencia de huracanes, cuando ocurren fuera de su régimen histórico o natural o los causados por el uso inadecuado de los bosques y selvas. Uno de los agentes de alteración más significativos son los incendios forestales, que en muchas ocasiones liberan en unos cuantos minutos grandes cantidades del carbono en forma de bióxido de carbono (Ikkonen *et al.*, 2004) que los bosques almacenaron por muchos años y ocasionan daños al arbolado y sus recursos asociados. Sin embargo, la presencia del fuego en la mayoría de los bosques templados favorece el establecimiento de la regeneración natural.

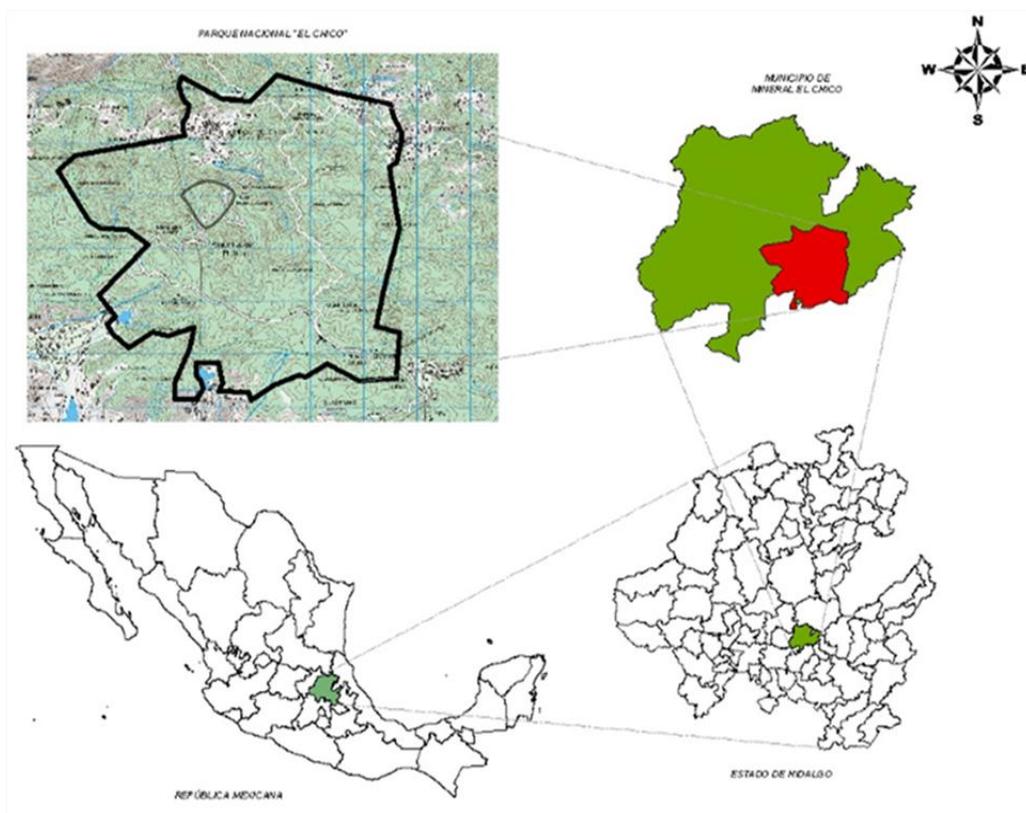
La estructura, composición florística, diversidad, distribución y extensión geográfica de los bosques de *Abies* han sido afectadas por los aprovechamientos forestales sin control, los incendios forestales frecuentes, la ganadería extensiva, el crecimiento de centros de población y la conversión de zonas boscosas a terrenos de cultivo o pastizales Cuevas *et al.* (2011), por lo que las estrategias para la conservación y el manejo a largo plazo de estos bosques deben reconocer el papel histórico del disturbio causado por el fuego, así como el potencial de cambios en la intensidad de los mismos y sus efectos ecológicos (Fulé y Covington, 1997).

Después de ocurrido un incendio forestal, para la valoración de los daños, normalmente se calcula la superficie y el volumen de madera afectada y si acaso algunas veces se observa la afectación al paisaje; otras ocasiones no se evalúa la cantidad de árboles que logran sobrevivir al siniestro, los fustes de los árboles muertos que permanecen por mucho tiempo en el sitio y que se incorporan al suelo. Por lo que es necesario evaluar la cantidad de biomasa y carbono residual posterior al incendio para complementar los reportes que se emiten a las dependencias oficiales y para programar actividades de restauración de los sitios afectados. Para conocer lo anterior, existen ecuaciones matemáticas que permiten determinar la biomasa de cada árbol a partir de variables de fácil medición (diámetro normal, altura total) y a bajo costo; las cuales pueden tener validez local o regional, generada para una especie o grupo de especies (Schroeder *et al.*, 1997).

El objetivo de este trabajo fue estimar la biomasa y carbono aéreo almacenado en los árboles muertos que permanecen en pie, en los árboles que lograron sobrevivir y el renuevo establecido en forma natural de *Abies religiosa* después de 12 años de ocurrido un incendio forestal. Además, de comparar las ecuaciones generadas en este estudio con las desarrolladas para la misma especie en un bosque del estado de Tlaxcala.

3.2 METODOLOGÍA

El estudio se realizó dentro del Parque Nacional “El Chico” que corresponde al primer Parque Nacional decretado en México; se ubica en el extremo occidental de la Sierra de Pachuca entre las coordenadas extremas de los 20° 10’ 10” a 20° 13’ 25” de Latitud Norte y los 98° 41’ 50” a 98° 46’ 02” de Longitud Oeste, comprende una superficie total de 2739 ha (CONANP, 2005) de las cuales 30.34 ha se afectaron por un incendio forestal de tipo superficial ocurrido en 1998 (año atípico nacional donde ocurrieron incendios de gran magnitud). Ésta área se ubica al noroeste del parque entre las coordenadas geográficas 20° 11’ 18” a 20° 12’ 29” de Latitud Norte y 98° 42’ 57” a 98° 44’ 41” de Longitud Oeste (Figura 3.1).



Fuente: Razo 2013

Figura 3.1 Ubicación del Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo y el área afectada por el fuego que fue inventariada.

Debido a que el reglamento de las Áreas Naturales Protegidas y el Programa de Manejo del Parque Nacional “El Chico” no permiten el uso de métodos destructivos en la vegetación (CONANP, 2005), la biomasa y carbono existentes se estimaron en base a un inventario, mediante el uso de ecuaciones matemáticas que permitieron determinar las variables dependientes a partir de la medición del diámetro normal y altura total de los árboles. El diámetro mínimo que se tomó en cuenta para el arbolado y regeneración natural es 5 y 2.5 cm, respectivamente. La información dasométrica para el estudio provino de 15 sitios de muestreo circulares de 1000 m² (lo que equivale al 5% de la zona donde ocurrió el incendio), distribuidos de manera sistemática en la superficie afectada por el incendio forestal. La base de datos la constituyeron 112 fustes de árboles muertos, 28 árboles adultos vivos y 4515 renuevos de oyamel que se evaluaron en los sitios muestreados. Para obtener la biomasa de cada árbol se consideró el valor de 360 kg/m³ que corresponde a la densidad de la madera de *Abies religiosa* (D), determinada por Goche *et al.* (2000). Con los datos tomados en campo de diámetro medido a 1.30 m y altura total para cada fuste (H), se procedió a considerar en primera instancia el cálculo del área basal (AB) y la biomasa por individuo tomando como base la ecuación desarrollada por el grupo Fundación Solar (2000) para biomasa en árboles muertos en pie, vivos y renuevos, siguiente:

$$Y= AB* H* D$$

Considerando que los fustes no son cilíndricos, se agregó a la ecuación anterior el coeficiente de forma por categorías de diámetro y altura para oyamel, reportados por la SARH (1985), resultando la ecuación siguiente:

$$Y= AB* H*Cf* D$$

Donde:

Y = biomasa (kilogramos), AB = área basal (metros cuadrados), H = altura total del árbol (metros), Cf = coeficiente de forma para oyamel y D = densidad de la madera de oyamel (kg/m³).

Para determinar el coeficiente de carbono se tomaron muestras de madera del interior del fuste en 5 árboles seleccionados al azar, a la altura de 1.30 m, se secaron en una estufa a una temperatura de 105°C hasta alcanzar el peso constante, posteriormente se pulverizaron en un molino tipo mortero para después determinar el contenido de carbono total de las muestras de madera mediante el equipo *Solids TOC Analyzer*[®], obteniendo un valor promedio del coeficiente de carbono, este valor se multiplicó por la biomasa individual de los árboles para obtener la cantidad de carbono.

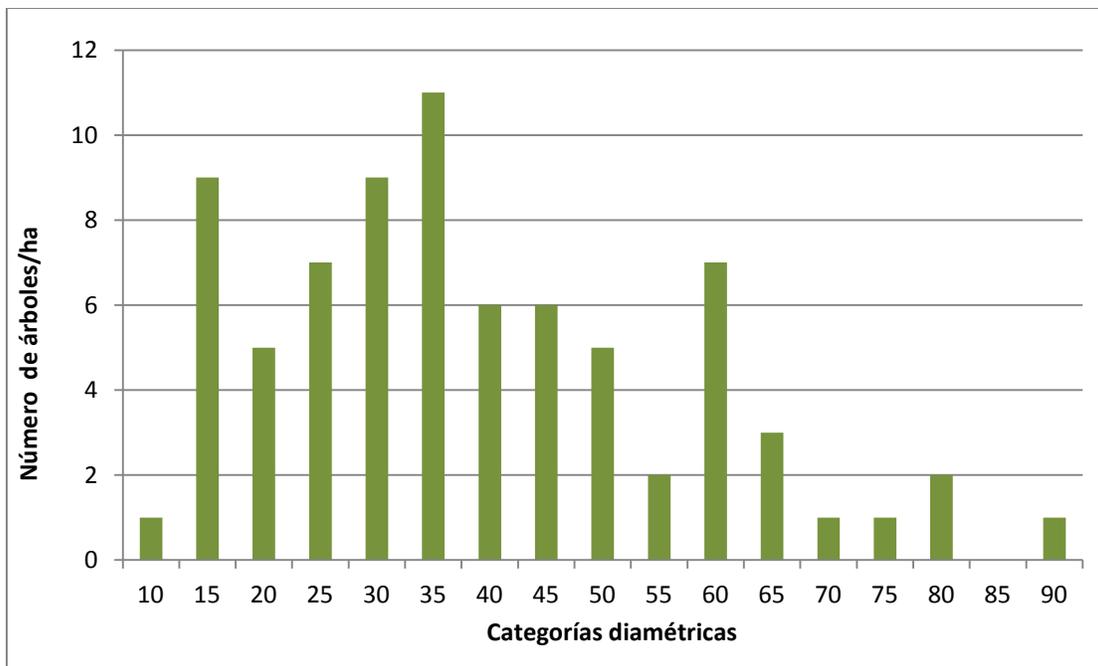
Con los datos estimados de biomasa y carbono individual y el correspondiente diámetro normal de los árboles muestreados, se ajustó el modelo matemático expresado en su forma potencial $Y = b_0 DN^{b_1}$ y logarítmica $\ln(Y) = \ln(b_0) + b_1 \ln(DN)$. Los modelos fueron ajustados por mínimos cuadrados con el propósito de obtener los valores de los parámetros b_0 y b_1 que representan la ordenada al origen y la pendiente del modelo de regresión, respectivamente. Se utilizó el paquete estadístico (Statistica ver 6.0), buscando que los modelos presentaran un buen

ajuste en los criterios de bondad (R^2 , valor de F), además de que fueran de fácil aplicación práctica. Finalmente se construyó una tabla con los resultados de este estudio y los obtenidos aplicando las ecuaciones desarrolladas por Avendaño *et al.* (2009) para la misma especie en bosques del estado de Tlaxcala, para comparar la biomasa y el carbono residual con base al diámetro normal (DN) en los árboles muertos, vivos y renuevo de oyamel.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Estructura dasométrica actual del bosque

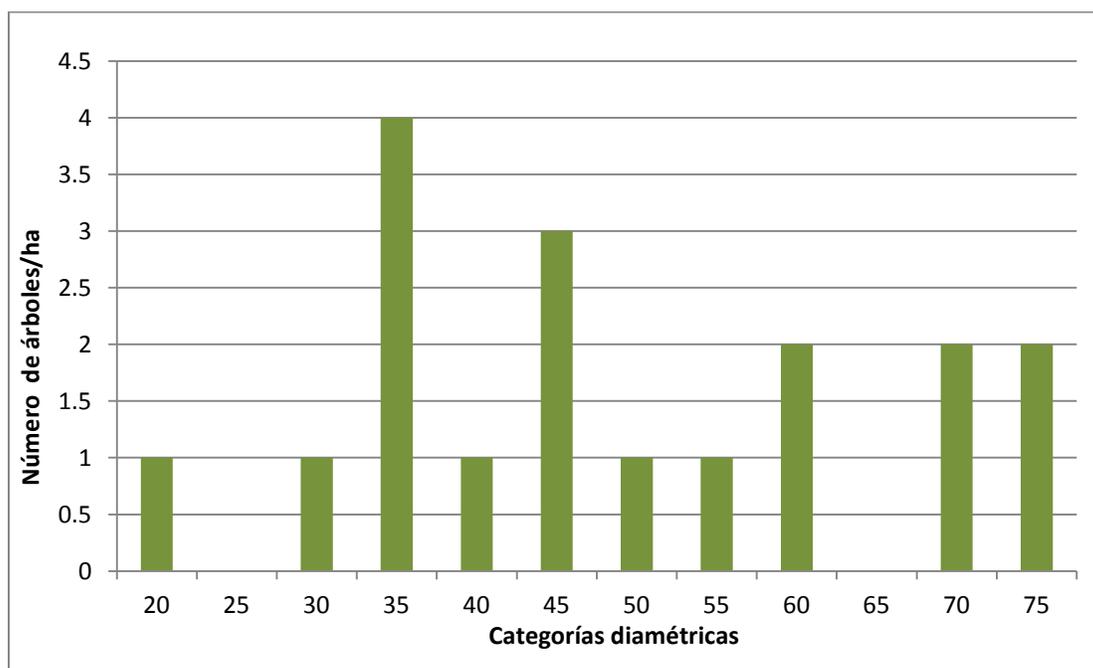
3.3.1.1 Arbolado muerto en pie. En el área afectada por el incendio forestal el mayor número de árboles adultos muertos que permanecen en pie y que fueron inventariados corresponden a las categorías diamétricas de 15, 30 y 35 cm con un número de individuos por ha de 9, 9 y 11 respectivamente (el diámetro mínimo encontrado fue de 11.4 cm y el máximo de 88.9 cm) y con presencia de árboles adultos muertos en prácticamente todas las categorías diamétricas en un rango de 10 a 90 cm (Figura 3.2), lo cual muestra que la condición original del bosque de oyamel (antes del incendio) correspondía a un tipo de masa forestal irregular característica de esta especie tolerante, que presentaba individuos de diferentes categorías diamétricas.



Fuente: Razo 2013

Figura 3.2 Número de árboles muertos de *Abies religiosa* por hectárea y sus categorías diamétricas.

3.3.1.2 Árboles vivos residuales. El mayor número de árboles adultos inventariados que lograron sobrevivir al siniestro muestran categorías diamétricas de 35, 45 y 60 cm con un número de individuos por hectárea de 4, 3 y 2 respectivamente (Figura 3.3). En su mayoría son árboles maduros dispersos, que después de ocurrido el incendio siguieron produciendo semilla para el establecimiento de la regeneración natural de oyamel en el área afectada.

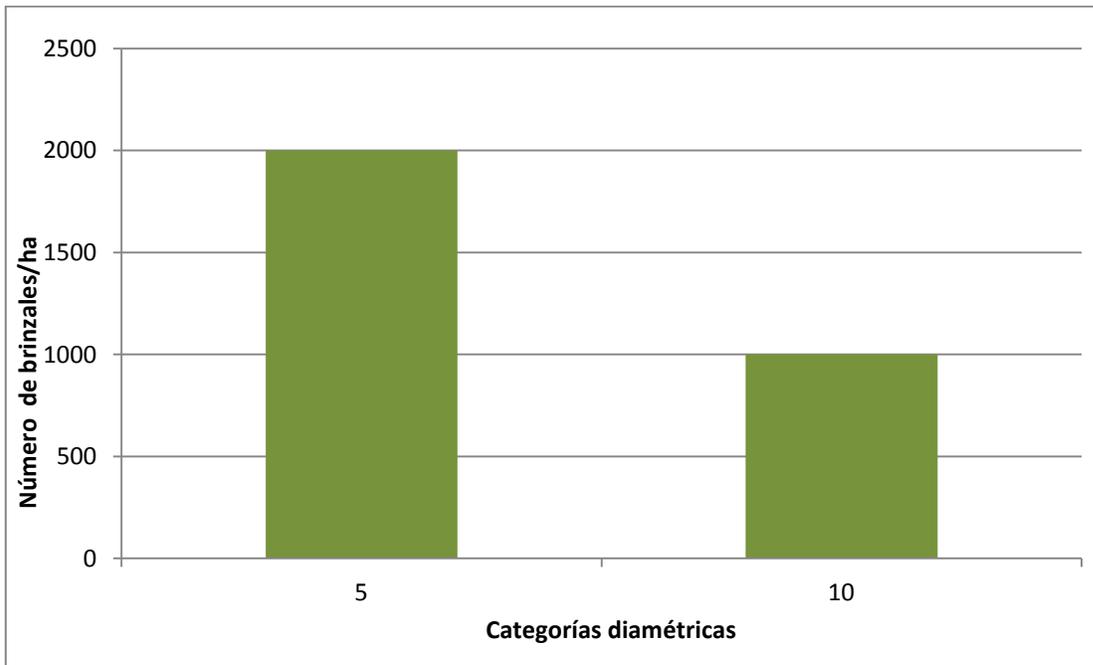


Fuente: Razo 2013

Figura 3.3 Número de árboles adultos de *Abies religiosa* por hectárea que lograron sobrevivir después de ocurrido el incendio.

3.3.1.3 Regeneración natural de oyamel. Después de ocurrido el incendio forestal, se observaron en las áreas afectadas un gran número de especies arbustivas y herbáceas que sirvieron de nodrizas, proporcionando la sombra que requiere el oyamel para su establecimiento. A 12 años de ocurrido el siniestro se han establecido en el sitio 3010 árboles por ha, los árboles que se encontraron

durante el inventario correspondieron a las categorías de 5 y 10 cm con 2000 y 1010 brinzales, respectivamente (Figura 3.4).



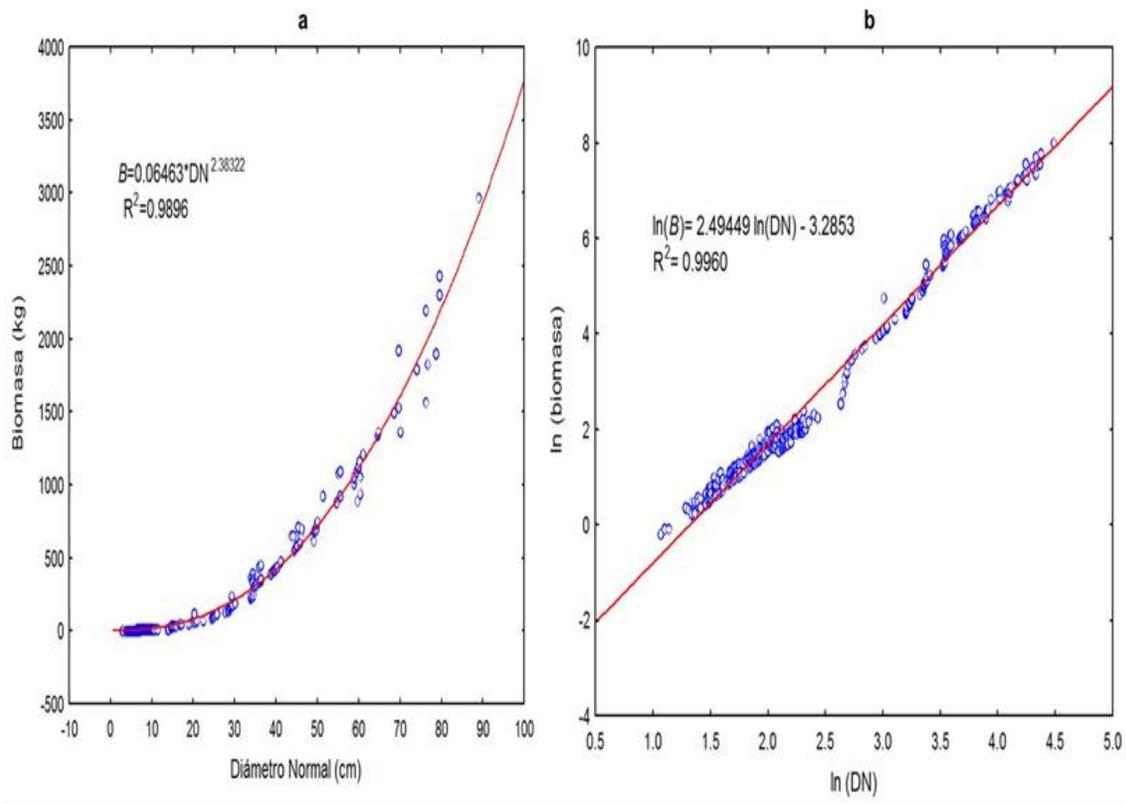
Fuente: Razo, 2013

Figura 3.4 Número de brinzales de *Abies religiosa* por hectárea que se establecieron en forma natural después de 12 años de ocurrido el incendio.

3.3.2 Estimación de biomasa

La biomasa estimada en los árboles muertos, arbolado vivo y renuevo de oyamel, se realizó con el modelo en su forma potencial mostrando un buen ajuste con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.99$, éste valor significa la confiabilidad con la que un modelo puede generar resultados adecuados, siendo más aceptable a medida que se acerque a uno (Rodríguez *et al.*, 2006). En la figura 3.5 (a) se observa de manera gráfica la tendencia ascendente en la biomasa de acuerdo a las categorías diamétricas de los árboles objeto de estudio y al linearizar el modelo

(b) se facilita la interpretación del análisis de regresión como lo recomiendan Little y Jackson (1976).



Fuente: Razo 2013

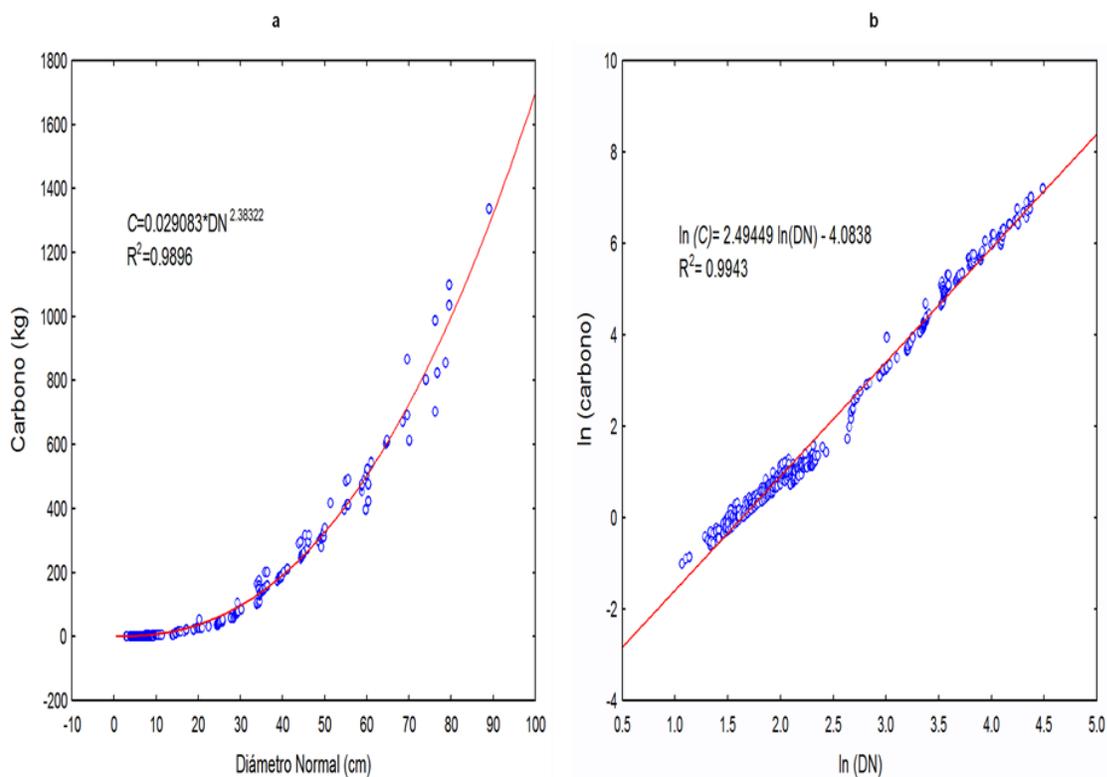
Figura 3.5 Modelo Potencial(a) y linealizado (b) para estimar biomasa en función del DN en árboles de oyamel del Parque Nacional “El Chico”.

Resultados similares fueron encontrados por Pimienta *et al.* (2007) en un estudio para determinar biomasa en arbolado vivo de *Pinus cooperi*, en Pueblo Nuevo, Durango, con un modelo que considera las variables dasométricas de diámetro y altura. Otros estudios han utilizado la misma ecuación, obteniendo resultados satisfactorios como: Acosta *et al.* (2002) presentó una R^2 de 0.97 para biomasa aérea en especies forestales nativas del bosque mesófilo de montaña en la Sierra Norte de Oaxaca. Avendaño *et al.* (2009) empleando éste mismo modelo

encontraron un R^2 de 0.99 para *Abies religiosa* en un bosque del estado de Tlaxcala.

3.3.3 Estimación de Carbono

Después de determinar la biomasa para cada árbol, el valor obtenido se multiplicó por la concentración de carbono que se obtuvo para el oyamel (0.45), valor muy cercano al utilizado por Acosta *et al.* (2009) que fue de 0.46. Posteriormente, se generó el modelo Potencial $C= 0.029083*DN^{2.38322}$, con un coeficiente de determinación ($R^2=0.99$) satisfactorio para estimar carbono en árboles residuales y establecidos después de un incendio forestal de tipo superficial (Figura 3.6).



Fuente: Razo 2013

Figura 3.6 Carbono en función del DN, para árboles muertos en pie, arbolado adulto vivo y renuevo establecido en forma natural en área afectada por incendio forestal.

Mediante los modelos generados para estimar biomasa y carbono se elaboró la Tabla 3.1 que muestra los valores individuales y por hectárea considerando como única variable el diámetro normal, que facilita la estimación de manera rápida y confiable de la biomasa y el carbono almacenado en el bosque de oyamel. Los resultados de este estudio se compararon con los valores obtenidos por los modelos generados por Avendaño *et al.* (2009) para un bosque de oyamel en el estado de Tlaxcala.

Tabla 3.1 Comparación de biomasa y carbono almacenado por hectárea por categoría diamétrica de *Abies religiosa*, con base al modelo generado en este estudio y aplicando el de Avendaño *et al.* (2009).

Categoría diamétrica (cm)	Número de árboles por ha	Biomasa individual (Kg)		Carbono individual (kg)		Carbono/ha (ton)	
		Modelo generado	Avendaño <i>et al.</i> 2009	Modelo generado	Avendaño <i>et al.</i> 2009	Modelo generado	Avendaño <i>et al.</i> 2009
5	2000	2.99	4.05	1.35	1.89	2.69	3.77
10	1011	15.62	23.09	7.03	10.75	7.11	10.87
15	9	41.05	63.91	18.47	29.76	0.17	0.27
20	6	81.48	131.58	36.67	61.27	0.22	0.37
25	7	138.69	230.40	62.41	107.28	0.44	0.75
30	10	214.16	364.13	96.37	169.55	0.96	1.70
35	15	309.23	536.19	139.15	249.67	2.09	3.75
40	7	425.10	749.72	191.29	349.10	1.34	2.44
45	9	562.86	1007.66	253.28	469.21	2.28	4.22
50	6	723.52	1312.76	325.58	611.27	1.95	3.67
55	3	908.03	1667.62	408.61	776.51	1.23	2.33
60	9	1117.27	2074.72	502.76	966.07	4.52	8.69
65	3	1352.09	2536.46	608.43	1181.07	1.83	3.54
70	3	1613.28	3055.09	725.96	1422.57	2.18	4.27
75	3	1901.59	3632.82	855.70	1691.58	2.57	5.07
80	2	2217.77	4271.76	997.98	1989.09	2.00	3.98
85	0	2562.50	4973.97	1153.11	2316.07	0.00	0.00
90	1	2936.46	5741.43	1321.38	2673.43	1.32	2.67
Total	3104	17123.72	32377.34	7705.54	15076.12	34.88	62.37

Fuente: Razo 2013

Los valores de biomasa, carbono individual y carbono por hectárea obtenidos con los modelos generados en este estudio y los de Avendaño *et al.* (2009), en las categorías diamétricas inferiores entre 5, 10 y 15 cm son muy cercanos; para el resto de las categorías las estimaciones con los modelos generados para el bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico” son más conservadoras.

Después de ocurrido el incendio forestal que afectó 30.34 ha en el Parque Nacional “El Chico”, se tiene una biomasa producto de los árboles muertos en pie de 41.20 ton/ha, que representan 18.54 toneladas de carbono por hectárea. Los árboles adultos que lograron sobrevivir al siniestro contienen una biomasa de 7.51 ton/ha que equivalen a 3.38 ton/ha de carbono que no fueron liberadas hacia la atmósfera (Tabla 3.2). Así mismo a 12 años de ocurrido el incendio forestal, el renuevo de oyamel ha almacenado 9.8 ton/ha de carbono y en las 30.34 ha siniestradas ha capturado 297.3 ton de carbono y se podría incrementar su eficiencia en el secuestro mediante la aplicación de tratamientos silvícolas (FAO, 2010), tales como las cortas de aclareo que en forma gradual favorecen el crecimiento en diámetro, volumen y biomasa de los árboles.

Tabla 3.2 Estimación de carbono por hectárea para cada condición del arbolado, utilizando el modelo generado para el bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”.

Condición del arbolado	Rango de categorías diamétricas	Número de árboles/ha	Carbono/ha (Ton)
Renuevo	5 a 10	3010	9.8
Arbolado vivo	20 a 75	18	3.38
Arbolado muerto	10 a 90	76	18.54

Fuente: Razo 2013

3.4 DISCUSIÓN

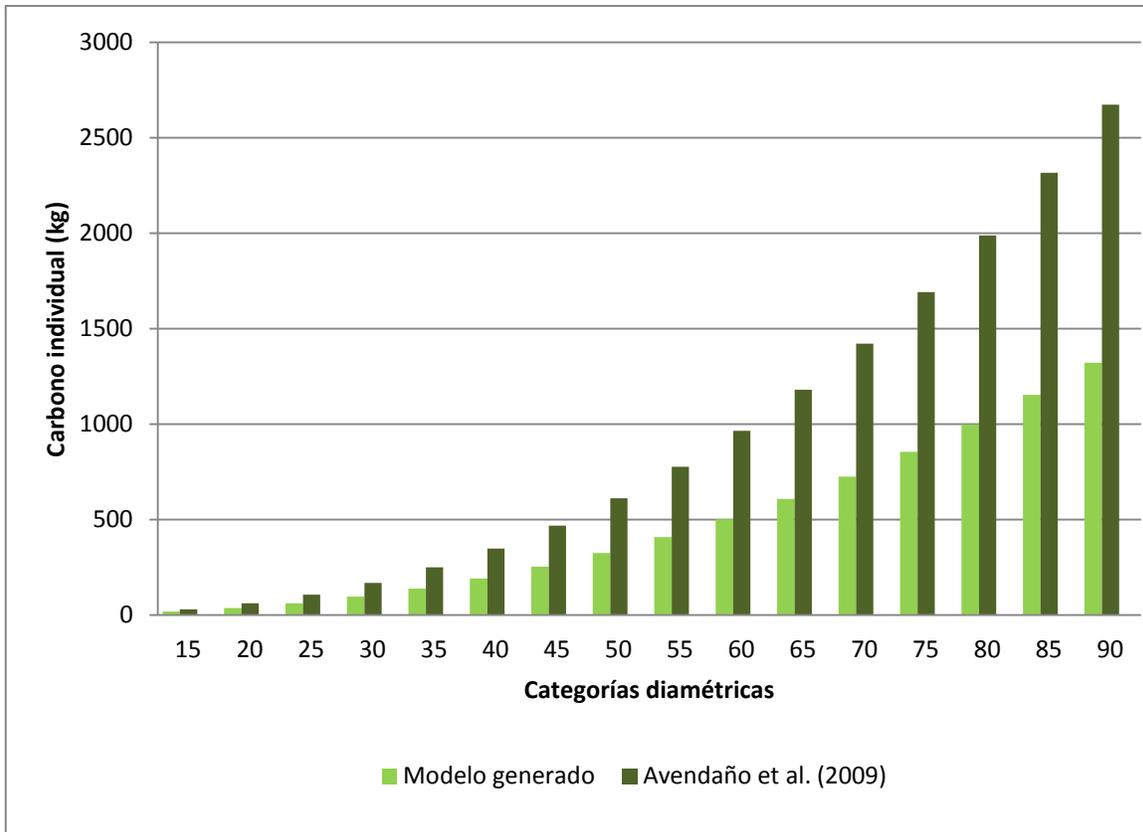
Si consideramos la opinión de algunos autores como Avendaño *et al.* (2009), en relación a que en un árbol completo el 84.5% de la biomasa se almacena en el fuste, el 6.9% en las ramas y el 8.6% en el follaje, con los datos obtenidos en este trabajo sobre la estimación del contenido de carbono en árboles muertos y vivos del área afectada por el incendio, se pudo conocer la capacidad de regeneración y el potencial de este bosque para el almacenamiento de carbono. También estos datos son importantes para complementar las evaluaciones y reportes de daños causados por los incendios forestales tomando en cuenta que cuando ocurre un incendio forestal de tipo superficial no todo el carbono regresa a la atmósfera, muchos árboles que no fueron consumidos por el fuego permanecen en el sitio por mucho tiempo, ya que la muerte natural o el biodeterioro, requiere de varias semanas hasta muchas décadas para completar la descomposición de la biomasa (dependiendo de la condiciones del sitio), dejando parte en el suelo y la otra directamente, en la atmósfera. La cosecha forestal puede almacenar parte del carbono vegetativo por largos períodos como madera sólida en productos de larga duración (construcción en madera), los desechos de transformación y las especies no comerciales se dejan para el deterioro o combustible, por lo que se recomienda dejarlos en pie o acomodarlos en obras de control de erosión del suelo, haciendo posible que un alto porcentaje de carbono se mantenga por más tiempo en el sitio y que después se incorpore de forma gradual al suelo (FAO, 2010). Con acciones como éstas y el establecimiento de la regeneración natural en los sitios afectados por el fuego se reactiva el ciclo del carbono en éste ecosistema, lo cual contribuye a mitigar el cambio climático. El contenido de biomasa y carbono que quedó en el

ecosistema después del incendio puede servir para estimar la línea base de proyectos de carbono en ese tipo de ecosistemas.

Los modelos generados en este estudio, de preferencia deben ser aplicados en ecosistemas similares de la sierra de Pachuca, donde no sea factible la cuantificación de biomasa con métodos destructivos. Como mencionan Dávalos *et al.* (2008), las técnicas de estimación de biomasa en general son muy costosas, debido al enorme volumen de material que se requiere coleccionar para generar las ecuaciones de cálculo, por lo que se puede considerar la densidad de la madera de las especies de interés, junto con la información de las dimensiones de los árboles, y muestreos de la biomasa total de la vegetación leñosa.

Los valores obtenidos mediante la aplicación de los modelos generados en este estudio y los desarrollados por Avendaño *et al.* (2009) para el carbono individual, son mayores con los modelos generados por estos últimos autores (Figura 3.7). Lo cual puede ser resultado de que en este estudio se utilizó de manera generalizada el valor de la densidad de la madera para estimar la biomasa de los árboles individuales completos, mientras que en el estudio realizado por Avendaño *et al.* (2009) se recurrió al uso del método destructivo para la obtención de la biomasa en los diferentes componentes del árbol, lo cual es más preciso.

Aun así el uso de los modelos generados en este estudio, permiten la estimación de biomasa y carbono en los bosques de oyamel que se desarrollan en una zona de gran afluencia turística como el Parque Nacional "El Chico", donde no es recomendable el derribo de arbolado para la cuantificación de estos elementos, por el gran impacto visual y social que se genera.



Fuente: Razo 2013

Figura 3.7 Valores de carbono individual obtenidos con el modelo generado y el desarrollado por Avendaño *et al.* (2009), para el bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”.

3.5 CONCLUSIONES

Las ecuaciones generadas para estimar la biomasa y carbono en árboles de *Abies religiosa* en un área afectada por un incendio forestal fueron $B=0.06463*DN^{2.38322}$ y $C=0.029083*DN^{2.38322}$ respectivamente, mostraron un buen ajuste por lo que son adecuadas y confiables para usarse en áreas siniestradas con condiciones similares, para la misma especie y región como Áreas Naturales Protegidas donde no es posible utilizar métodos destructivos para el cálculo de biomasa y carbono.

En las 30.34 hectáreas siniestradas por el incendio forestal ocurrido en 1998 en el Parque Nacional “El Chico”, no se consumieron por el fuego un total de 665.05 toneladas de carbono que no fueron liberadas hacia la atmósfera. Sumándose una captura actual de 297.33 toneladas de carbono por el renuevo establecido a doce años de ocurrido el siniestro.

Para aumentar la capacidad de almacenamiento de carbono, se recomienda la aplicación de cortas de aclareo en las áreas con renuevo establecido, con el fin de favorecer el aumento de biomasa en los árboles residuales y prevenir posibles daños por la incidencia de incendios forestales.

3.6 LITERATURA CITADA

- Acosta M. M, F. Carrillo A. y M. Díaz L. 2009. Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et Cham. Terra Latinoamericana 27(2): 105-114.
- Acosta M. M, J. Vargas H., J. D. Etchevers B. y A. Velázquez M. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. Agrociencia 6:725-736.
- Avendaño H. D. M., M. Acosta M., F. Carrillo A. y D. Etchevers B. 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. Fitotecnia Mexicana 32(3): 233-238.
- Cadena M. O. I. y G. Ángeles P. 2005. Almacenes de carbono en hojarasca en bosques manejados de *Pinus patula* en Zacualtipán, Hidalgo. Resumen del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Chihuahua, Mex. 422-423 p.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2005. Programa de conservación y manejo del Parque Nacional El Chico. México. 236 p.
- Cuevas G.R., E.A. Cisneros L., E.J. Jardel P., E.V. Sánchez R., L. Guzmán H., N. M. Núñez L. y C. Rodríguez G. 2011. Análisis estructural y de diversidad en los bosques de *Abies* de Jalisco, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 82: 1219-1233.
- Dávalos S. R., M. I. Morato y E. Martínez P. 2008. Almacenamiento de carbono. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. INECOL. pp.223-233
- Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2010. La gestión de los bosques ante el cambio climático, 20 p.
- Fundación Solar. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono. Guatemala. 31 p.
- Fulé, P. Z. y W. W. Covington. 1997. Fire regimes and forest structure in the sierra Madre Occidental, Durango, México. Acta Botánica Mexicana 41:43–79.
- Goche T. J. R., M. Fuentes S., A. Borja D. y H. 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
- Ikkonen E., E. Ángeles C. y N. E. García C. 2004. Producción de CO₂ en andosoles afectados por incendios forestales en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo. Terra Latinoamericana. 22(4):425-431

- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). 2000. Land use, land-use change, and forestry special report. Cambridge: Cambridge University Press. 377 p.
- Little T. M. y F. Jackson. 1976. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Ed. Trillas. México. 270 p.
- Ordóñez B., H. J. De Jong y O. Maser. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus*, Michoacán. Madera y Bosques 7(2):27-47.
- Pimienta D. D. J., G. Domínguez C., O. Aguirre C., F. J. Hernández y J. Jiménez P. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. Madera y Bosques 13(1):35-46.
- Rodríguez L. R., J. Jiménez P., O. Aguirre C., E. J. Treviño G. 2006. Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. Ciencia UANL 9(2):179-187
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1985. Memoria del Inventario Forestal del estado de Hidalgo, Manejo y aprovechamiento de los recursos forestales. 69 p.
- Schroeder P., S. Brown, J. M., R. Birdsey y C. Cieszewski. 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data. Forest Science. 43(3) 424-434.
- Tipper R. 1998. Update on carbon offsets. Tropical Forest Update. 8(1):2-5.
- 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. Gaceta Ecológica INE.Nº 63.

CAPÍTULO 4

4. ESCENARIOS DE CARBONO PARA EL BOSQUE DE OYAMEL DEL PARQUE NACIONAL “EL CHICO”, HIDALGO

RESUMEN

Los bosques de las áreas naturales protegidas se consideran como un importante depósito de carbono cuya permanencia en el ecosistema depende en gran medida de que no se manifiesten fenómenos naturales y antropogénicos nocivos, el objetivo de este trabajo fue determinar el mejor escenario para el almacenamiento y captura de carbono en bosques de *Abies religiosa* dentro del Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo. Para el proceso de cálculo del contenido de carbono se hizo un inventario forestal en el 2011 en una superficie de 212.95 ha que comprende los escenarios 1) bosque conservado, 2) bosque medianamente alterado 3) bosque alterado y 4) bosque alterado con introducción de especies exóticas. Se obtuvieron las existencias reales por hectárea que fueron multiplicadas por la densidad de la madera de oyamel y el coeficiente de carbono para la especie. Los resultados mostraron que el bosque conservado tuvo el menor valor (62.6 ton C/ha), mientras que el bosque alterado y bosque con introducción de especies exóticas (por tratarse de la misma área) presentaron el mayor valor con 166.6 ton C/ha. Estos últimos son los que más se acercan al escenario perfecto para el almacenamiento y secuestro de carbono por los bosques de oyamel, debido a que se encuentran arboles de diferentes edades, categorías diamétricas y alturas lo que permite que las masas forestales se mantengan dinámicas almacenando carbono por periodos de tiempo prolongados. En contraste en el bosque

conservado la mayoría de los árboles son sobremaduros y no muestran incrementos considerables en el almacenamiento de carbono.

Palabras clave: Existencias reales, carbono, *Abies religiosa*, escenarios de carbono, bosque de oyamel.

ABSTRACT

Forests in protected areas are seen as a major store of carbon whose presence in the ecosystem depend largely not manifest adverse natural and anthropogenic phenomena, the objective of this study was to determine the best scenario for the capture and storage carbon in forests of *Abies religiosa* in the National Park “El Chico”, Hidalgo. For the process of calculating carbon content there was a forest inventory in 2011 in an area of 212.95 ha that includes scenarios 1) forest preserved, 2) moderately disturbed forest, 3) altered forest and 4) altered forest with exotic species . We obtained the actual stock per hectare were multiplied by the density of fir wood and carbon coefficient for the species. The results showed that the preserved forest had the lowest value (62.6 ton C/ ha), while the disturbed forest had the highest value of 166.6 ton C/ ha. The latter is the closest to the perfect setting for the storage and carbon sequestration by forests of fir, because the trees are of different ages and heights diameter categories allowing the forests storing carbon dynamics remain for periods of time. In contrast in the forest retained most of the trees are overmatured and show no significant increases in carbon storage.

Keywords: Real stocks, carbon, *Abies religiosa*, carbon scenarios, fir forest.

4.1 INTRODUCCIÓN

Los bosques capturan, almacenan y liberan carbono como resultado de los procesos fotosintéticos, de respiración y de degradación de materia seca (Tipper, 1998). El carbono queda retenido en la biomasa viva, en la materia orgánica en descomposición y en el suelo. De esta manera, estos ecosistemas se destacan por su gran capacidad de fijar carbono principalmente en sus estructuras leñosas (Nakama *et al.*, 2003), siendo en el fuste de un árbol completo donde se acumula la mayor cantidad de carbono (Avendaño *et al.*, 2009); así se ha estimado que los árboles en particular asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida (Ordóñez *et al.*, 2001).

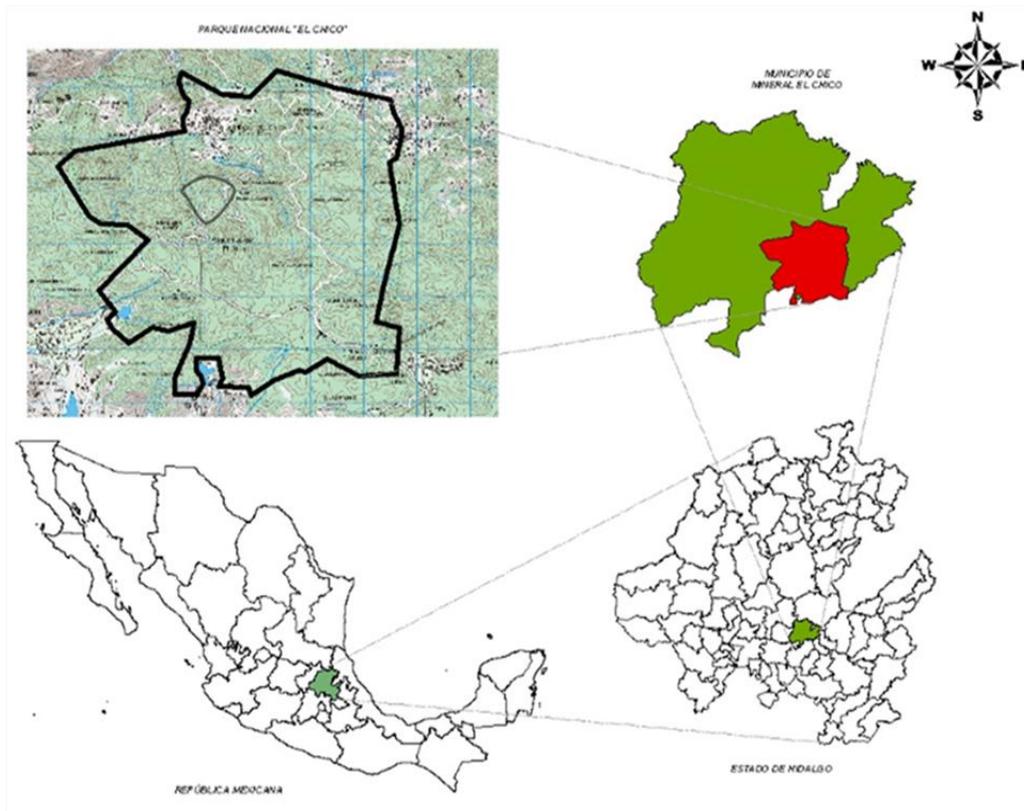
La capacidad que tienen los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Schulze *et al.*, 2000). La determinación adecuada de biomasa en un bosque, permite indicar los montos de carbono por unidad de superficie y tipo de bosque (Snowdon *et al.*, 2001).

Para conocer la capacidad de almacenamiento de carbono en bosques de oyamel con diferentes grados de alteración (escenarios), hace falta evaluar el volumen de biomasa y carbono contenido en la madera afectada por el fuego u otros agentes nocivos y en los árboles que logren sobrevivir. Dado que el reglamento de las Áreas Naturales Protegidas no permite el uso de métodos destructivos en la vegetación, fue necesario estimar el carbono existente en base a un inventario, mediante el uso de ecuaciones matemáticas que permitan determinar la biomasa y carbono a partir de variables de fácil medición como el diámetro normal y altura

total, los resultados pueden servir de base para la reorientación del manejo forestal, mitigación del cambio climático y mejora de los servicios ambientales que proporciona el bosque de oyamel. Considerando lo anterior se estableció como objetivo determinar el mejor escenario para el almacenamiento y captura de carbono en bosques de *Abies religiosa* dentro del Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó dentro del Parque Nacional “El Chico” que se ubica en el extremo occidental de la Sierra de Pachuca (Figura 4.1) entre las coordenadas extremas de los 20° 10' 10" a 20° 13' 25" de latitud Norte y los 98° 41' 50" a 98° 46' 02" de longitud Oeste, comprende una superficie total de 2739 ha (CONANP, 2005).



Fuente: Razo 2013

Figura 4.1 Ubicación geográfica del Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo.

Para lo cual se seleccionó un área al noroeste del Parque donde se concentran cuatro escenarios (bosque conservado, medianamente alterado, alterado y alterado con introducción de especies exóticas) que representan las diferentes condiciones del bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”. Los escenarios

alterados fueron afectados por un incendio forestal ocurrido en 1998. Con la intención de hacer el menor daño a la vegetación dentro del Área Natural Protegida, se efectuó un inventario forestal en 212.95 ha que comprenden los cuatro escenarios, donde se recabó información dasométrica en 94 sitios de 1000 m² distribuidos de manera sistemática a cada 200 m. Con los datos obtenidos se realizó primeramente, el cálculo de las existencias reales de oyamel por hectárea. Así mismo, se consideró el valor de 0.36 ton/m³ de densidad de la madera de *Abies religiosa* (Goche *et al.*, 2000).

Con los valores de existencias reales por hectárea, de densidad de la madera y coeficiente de carbono obtenido para *Abies religiosa* (0.45), se procedió a estimar el contenido de carbono en árboles vivos y muertos de oyamel partiendo del inventario de las existencias reales por especie y por rodal, utilizando la ecuación propuesta por Ordóñez (2008).

$$\mathbf{CAER = E.R.*D*CC}$$

Donde: **CAER**= Contenido de carbono por especie y por rodal en tc/ha, **E.R.** = Existencias reales en m³/ha, **D** = Densidad de la madera de *Abies religiosa* expresada en t/m³, **CC**= Coeficiente de carbono para *Abies religiosa*.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cuatro escenarios de carbono que representan las diversas condiciones actuales del bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico” se muestran en la figura 4.2.



Fuente: Razo 2013

Figura 4.2 Escenarios de captura y/o almacenamiento de carbono del bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”.

4.3.1 Escenario de bosque conservado

Es una condición en la que no se han presentado incendios forestales u otro tipo de alteración natural o causada por el hombre. Está representado por árboles maduros y sobremaduros de *Abies religiosa* cuyas edades promedio se encuentran entre 80 y 90 años, en general los oyameles son corpulentos y con

alturas superiores a los 25 metros, presentan una buena cobertura de copa lo que favorece la presencia permanente de sombra en el sotobosque.

Aunque aparentemente los árboles de esta condición presentan buen estado sanitario, muchos de estos muestran las puntas secas producto de la plaga de descortezador que ocasiona lo que se conoce como “muerte descendente del oyamel”.

En el área conservada los árboles de oyamel han muerto por sobremadurez o a causa de las plagas permanentemente presentes en este bosque, mientras que la presencia de encinos muertos se debe posiblemente a que ésta especie no es tolerante a la sombra que proporcionan los árboles de oyamel. Dado que no se presentan suficientes claros en el bosque, la regeneración natural de oyamel es prácticamente nula.

4.3.2 Escenario de bosque medianamente alterado

En esta condición tampoco se han presentado incendios forestales, pero hay derribo de árboles por el viento, muerte y caída de los árboles por las plagas y enfermedades, mismos que han favorecido la apertura de claros en algunas zonas del parque, donde se ha venido estableciendo regeneración natural de oyamel y de otras especies a altas densidades.

4.3.3 Escenario de bosque afectado por los incendios forestales

En la condición alterada o afectada por los incendios forestales, más del 50% de los árboles de oyamel y un porcentaje considerable de encinos han muerto y se están incorporando al suelo como necromasa, con lo que entra más luz al suelo lo que ha favorecido en primera instancia el establecimiento de especies arbustivas y

de encinos que están funcionando como nodrizas que han facilitado el establecimiento bajo su media sombra de la regeneración natural de oyamel.

4.3.4 Escenario de bosque con introducción de especies exóticas

Este escenario es muy similar al anterior, pero en éste después de que se presentaron los incendios forestales se efectuó una reforestación con especies exóticas heliófilas tales como *Pinus patula* y *Cupressus lusitanica*, las cuales junto con *Abies religiosa* se han establecido a altas densidades.

En las áreas estudiadas se tienen los árboles vivos y muertos que se muestran en la Tabla 4.1, donde se observa un mayor número de árboles muertos de oyamel en los escenarios medianamente alterado y alterado por los incendios forestales. En este último la intensidad del fuego fue mayor, situación que resulta proporcional al número de árboles muertos.

Tabla 4.1 Número de árboles vivos y muertos de oyamel en cuatro escenarios.

Escenario	Número de árboles/ha	
	Vivos	Muertos
Bosque conservado	159	25
Bosque medianamente alterado	307	253
Bosque alterado	190	514
Bosque con especies exóticas	190	514

Fuente: Razo 2013

El carbono almacenado en el componente aéreo por hectárea en los cuatro escenarios estudiados se muestra en la Tabla 4.2, donde se aprecia un mayor contenido de carbono en los árboles vivos de oyamel en la condición medianamente alterada, que es proporcional al número de árboles y existencias reales por hectárea.

Tabla 4.2 Contenido de carbono aéreo en los diferentes escenarios del bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”.

Escenario	Contenido de carbono(ton/ha) arbolado adulto vivo de oyamel	Contenido de carbono(ton/ha) arbolado adulto muerto de oyamel	Contenido de carbono (ton /ha) en renuevo de oyamel	Total de Carbono (ton/ha)
Bosque conservado	59.441	3.243	0	62.68
Bosque medianamente alterado	112.612	26.077	1.08	139.77
Bosque alterado	78.016	88.661	8.127	174.8
Bosque con especies exóticas	78.016	88.661	9.81	176.49
Total	328.085	206.642	19.017	553.74

Fuente: Razo2013

De acuerdo con los datos anteriores, el escenario del bosque de oyamel conservado que contiene un gran número de árboles sobremaduros (más de 80 años de edad), corresponde a un área de almacenamiento de carbono con un total de 62.68 ton/ha. El escenario de bosque medianamente alterado corresponde a un área de almacenamiento de carbono en la biomasa del arbolado vivo y la necromasa que se incorpora al suelo, se manifiesta la captura de carbono por la

vegetación y árboles jóvenes establecidos en los pocos claros del bosque sumando un total de 139.77 ton/ha. Finalmente en los escenarios de bosque alterado y con introducción especies exóticas, se tiene un porcentaje considerable de almacenamiento de carbono en el arbolado vivo y muerto con un total de 166.68 ton/ha en el arbolado adulto. A diferencia de las otras dos condiciones del bosque de oyamel, estos escenarios muestran una alta actividad de captura de CO₂ a través de la fotosíntesis que están realizando los árboles jóvenes establecidos en forma natural y mediante la introducción de las especies exóticas, los cuales aún sin manejo presentan categorías diamétricas entre 5 y 10 cm y una altura promedio de 4.3 m; almacenando hasta el momento 8.127 y 9.81 ton/ha, respectivamente de carbono. Estas condiciones son las que más se acercan al escenario perfecto para el almacenamiento y secuestro de carbono por los bosques, donde se pretende que las masas forestales se mantengan dinámicas almacenando carbono por periodos de tiempo prolongados en los árboles adultos vivos, incorporando constantemente biomasa al suelo producto de los árboles o sus partes que lleguen a morir, mientras se va estableciendo la regeneración natural o mediante la reforestación con distintas especies y otros individuos jóvenes están en plena actividad fotosintética. Situación que concuerda con Cadena y Ángeles (2005) cuando señalan que en general, es aceptado que la tasa de fijación de carbono por medio de procesos de fotosíntesis es más alta en rodales jóvenes que en rodales maduros. Sin embargo, el secuestro total de carbono en el sistema es mayor en estos últimos.

4.4 CONCLUSIONES

Las existencias reales determinaron que en los bosques de oyamel, el escenario alterado por un incendio forestal y el de introducción de especies exóticas, constituyen el mayor almacén y captura de carbono. En contraste el escenario del bosque conservado presentó menor almacén y captura de carbono.

Se recomienda generar escenarios con árboles de todas las edades y categorías diamétricas y alturas mediante el manejo del bosque que además de cumplir con los objetivos del Parque Nacional “El Chico” contribuyan a la mejora de los servicios ambientales que este bosque proporciona a la región.

4.5 LITERATURA CITADA

- Avendaño H. D. M., M. Acosta M., F. Carrillo A. y J. D. Etchevers B. 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. Fitotecnia Mexicana 32(3): 233-238.
- Cadena M. O. I. y G. Ángeles P. 2005. Almacenes de carbono en hojarasca en bosques manejados de *Pinus patula* en Zacualtipán, Hidalgo. Resumen del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Chihuahua, México. 422-423 p.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2005. Programa de conservación y manejo del Parque Nacional El Chico. México. 236 p.
- Goche T. J. R., M. Fuentes S., A. Borja D. y H. 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
- 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.
- Ordóñez B., H. J. De Jong y O. Maser. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus*, Michoacán. Madera y Bosques 7(2):27-47.
- Ordóñez Díaz J. A. B. 2008. Como entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales. Ciencias 90 (Abril-junio).
- Schulze, E.D., Wirth, Ch. y Heimann, M. 2000. Managing forest after Kyoto. Science. 289(5487): 2058-2059.
- 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.
- Tipper R. 1998. Update on carbon offsets. Tropical Forest Update. 8(1):2-5.

CAPÍTULO 5

5. MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL AMBIENTAL PARA EL BOSQUE DE OYAMEL DEL PARQUE NACIONAL “EL CHICO”, HIDALGO

RESUMEN

Para llevar el bosque de oyamel a un escenario ideal para la captura y almacenamiento de carbono se diseñó un Modelo de Gestión Integral Ambiental para el bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico” considerando los principios siguientes: a) El bosque de oyamel es un recurso natural renovable con alta capacidad para la captura y almacenamiento de carbono, que puede ser mejorado y de perdurar por siempre con un buen programa de gestión, basado en el manejo forestal sustentable de los diferentes escenarios, b) *Abies religiosa*, es una especie tolerante que se establece bajo media sombra, por lo que su manejo silvícola es compatible con la conservación de la biodiversidad del bosque, c) El bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico” está constituido en su mayor parte por arbolado sobre maduro (de más de 80 años de edad), con problemas de plagas y enfermedades; cuyos crecimientos e incrementos en volumen y biomasa actualmente son poco significativos, por lo que la captura de carbono prácticamente ya no se manifiesta, d) Los árboles como todo ser vivo, nacen, crecen, se desarrollan, se reproducen y finalmente mueren. Durante el crecimiento de los árboles, las tasas de captura de carbono son inicialmente crecientes, seguidas por tasas gradualmente en disminución; por lo que el bosque de oyamel alcanza su mayor eficiencia para el crecimiento y la captura de carbono en las fases juvenil y adulta, e) La mayor parte del bosque de oyamel del Parque

Nacional, corresponde a masas sobre maduras con problemas de plagas y enfermedades, que muestran una clara tendencia futura a sucumbir, si se espera a que esto suceda, los costos para recuperarlas serán muy altos, f) Disturbios como los incendios forestales, el derribo de árboles por el viento, la muerte y caída de los árboles por las plagas y enfermedades han favorecido la apertura de claros en algunas zonas del parque, donde se ha venido estableciendo la regeneración natural de oyamel y de otras especies a altas densidades, urgiendo el manejo silvícola de las mismas para aumentar su eficiencia en la captura y almacenamiento de carbono.

Mediante la aplicación del modelo de gestión, cada uno de los escenarios representativos de las condiciones actuales del bosque de oyamel deberá someterse a los tratamientos silvícolas que les correspondan en forma gradual y ordenada hasta lograr convertir el área manejada en un escenario ideal para la captura y almacenamiento de carbono.

Palabras clave: Bosque de oyamel, gestión integral ambiental, *Abies religiosa*.

ABSTRACT

To bring the fir forest to an ideal setting for the capture and storage of carbon designed a model Integrated Environment for the fir forest of the National Park "El Chico" considering the following principles: a) The fir forest is a renewable natural resource with high capacity for capturing and storing carbon, which can be improved and to last forever with a good management program, based on SFM of different scenarios, b) *Abies religiosa*, is a tolerant species establishing under partial shade, so its silvicultural management is compatible with the conservation of forest biodiversity, c) The fir forest national park "El Chico" is made mostly by trees overripe (over 80 years old), with problems of pests and diseases, whose growth and increases in volume and biomass currently are not significant, so carbon capture practically not manifested, d) Trees like all living, born, grow, develop, reproduce and eventually die. During the growth of the trees, the rates of carbon sequestration are initially increased, followed by rates gradually declining, for what the fir forest reaches its highest efficiency for growth and carbon sequestration in the juvenile and adult stages, e) Most of the fir forest of National Park El Chico, corresponding to masses overripe with problems of pests and diseases, which show a clear future trend to succumb, if you wait for that to happen, the costs to recover them will be very high , f) disturbances such as forest fires, felling trees in the wind, death and falling trees from pests and diseases have led to the opening of gaps in some areas of the park, which has been establishing natural regeneration fir and other species at high densities, urging silvicultural management of them to increase their efficiency in capturing and storing carbon. Through the application of the management model, each of the scenarios

representative of current conditions fir forest must undergo silvicultural treatments to them in a gradual and orderly to achieve convert the managed area an ideal setting for capturing and carbon storage.

Key words: forest of fir, integrated management environment, *Abies religiosa*.

5.1 INTRODUCCIÓN

Mediante la adopción de prácticas sostenibles de gestión es posible asegurar que los bosques productivos o de usos múltiples sigan almacenando carbono, mientras mantienen su capacidad de proporcionar otros bienes y servicios en beneficio de las generaciones actuales y futuras. A fin de evitar la sobreexplotación y la degradación de los bosques, es necesario planificar activamente las prácticas de gestión y adaptarlas específicamente a cada ecosistema y a la evolución de las situaciones (FAO, 2010).

Los planes y las prácticas de gestión forestal también tendrán que adaptarse a las modificaciones, tanto graduales como repentinas, causadas por el cambio climático. Para afrontar los desafíos que se plantean y reducir la vulnerabilidad de los bosques, es esencial adoptar una gestión forestal adaptativa. Las medidas de adaptación pueden incluir, por ejemplo, la selección de variedades resistentes a las plagas o las sequías, el uso de especies de varias procedencias, la plantación bajo cubierta de genotipos de especies adaptadas a las nuevas condiciones climáticas previstas, o la regeneración natural asistida de especies funcionales. Es preciso adaptar estas medidas al estado de los bosques (primarios, secundarios, degradados) y a la zona específica.

Las actividades de gestión integral ambiental que pueden favorecer la captura y almacenamiento de carbono del bosque de oyamel deben incluir:

Prácticas sostenibles de gestión y aprovechamiento de los bosques, gestión integrada de incendios, gestión de la sanidad y vitalidad de los bosques y gestión de la biodiversidad y de las áreas protegidas.

Toda la vegetación asimila CO₂ atmosférico, por medio del proceso fotosintético, al formar carbohidratos y ganar volumen. Los árboles en particular, asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida. Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% de flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie de la tierra. Por ello, la forestería puede compensar las crecientes emisiones de CO₂ en dos formas:

a) Al crecer nuevos reservorios de bióxido de carbono, incrementando la masa de material maderable tanto por medio del crecimiento de árboles como por la extracción de madera. Para lograr mayor efectividad en el proceso de almacenamiento de carbono en el largo plazo, la madera extraída debería convertirse en productos durables. Una vez que el árbol ha alcanzado su madurez, el carbono acumulado se mantendrá almacenado, pero el área muy pronto actuará como reservorio, debido a que el proceso de respiración y oxidación en un bosque maduro generalmente alcanza un balance por el efecto fotosintético. En el largo plazo, el carbono capturado tanto en sistemas forestales como en sistemas agroforestales puede alcanzar entre 80 y 350 tC/ha.

b) Protección de los bosques y suelos naturales que almacenan carbono. Cuando se destruye el bosque, entre 50 y 400 tC/ha pueden ser liberadas a la atmósfera. Conservar los almacenes de carbono puede ser un camino válido para mitigar la emisión. En este contexto los procesos de almacenaje son válidos sin son de largo plazo. Mientras que la protección de un área forestal puede inducir la presión en otra, se requieren esquemas integrados de manejo de recursos, enriquecidos con esquemas de evaluación de proyectos para validar dicha protección (INE, 1995).

5.2 METODOLOGÍA

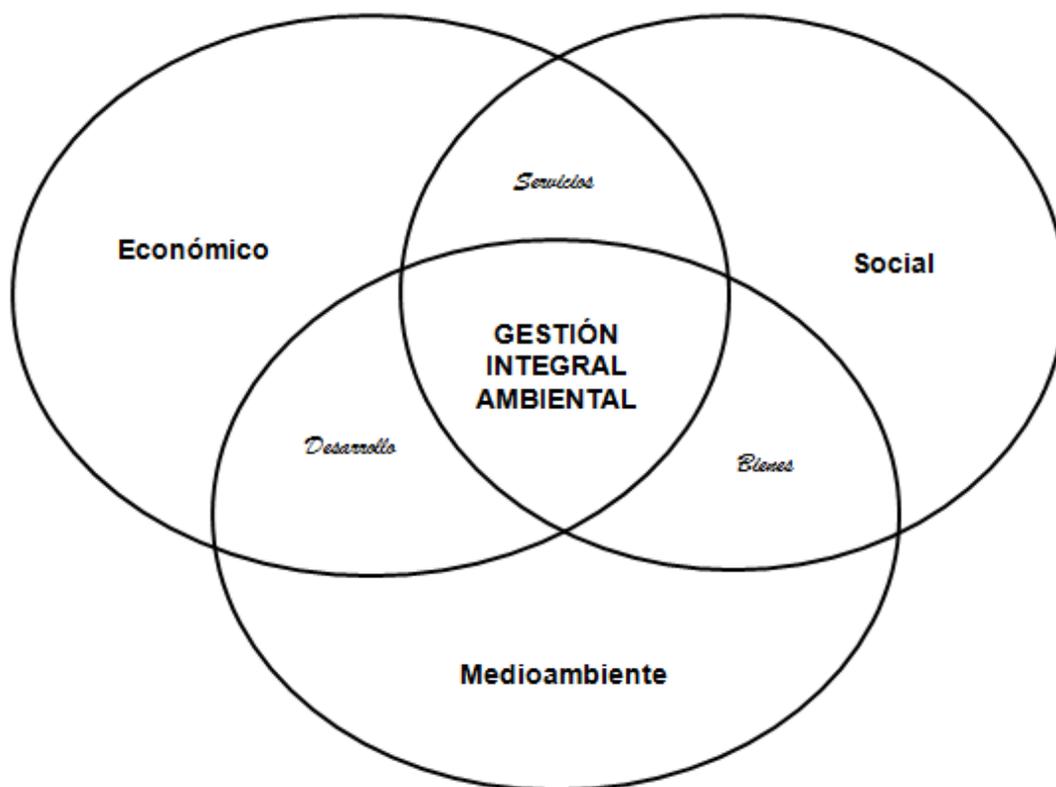
Considerando la información existente de los bosque de oyamel y la capacidad de captura y almacenamiento de carbono en los diferentes escenarios del Parque Nacional “El Chico”, desarrollada en los capítulos anteriores de este estudio, se procedió a diseñar un modelo de gestión integral ambiental considerando los aspectos económicos, sociales y medioambientales que inciden sobre el bosque de oyamel como generador de bienes, servicios ambientales y desarrollo para los habitantes de la región, trabajadores del Parque y personas que visitan esta área natural protegida.

Para justificar la necesidad de realizar la gestión integral ambiental del bosque de oyamel se definieron los principios básicos en base a consideraciones ecológicas, ambientales, socioeconómicas, técnicas y políticas.

Posteriormente, mediante el Modelo de Gestión se hizo una descripción de las acciones que se proponen realizar para cambiar los escenarios actuales del bosque de oyamel a un bosque más dinámico para la captura y almacenamiento de carbono, considerando la respuesta del bosque en el corto, mediano y largo plazo. Para conocer el grado de afectación a los recursos asociados al bosque de oyamel, que pueden resultar con el desarrollo del proyecto, se utilizó por vez primera, la Matriz de identificación y valoración de impactos ambientales de Leopold *et al.* (1971), modificada por Hernández Muñoz y modificada por Gordillo Martínez con la que se efectuó la identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales que se generarán en cada uno de los escenarios con la implementación del Modelo de Gestión. Posteriormente se definieron las medidas de mitigación que se pueden implementar para cada escenario.

5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para llevar el bosque de oyamel a un escenario ideal para la captura y almacenamiento de carbono fue necesario diseñar un modelo de gestión integral ambiental que tiene como elementos esenciales los aspectos medioambientales, sociales y económicos y las interrelaciones entre estos, considerando al bosque como un proveedor de bienes y servicios ambientales que incide sobre el desarrollo económico del área de influencia del Parque Nacional “El Chico” (Figura 5.1).



Fuente: Razo 2013

Figura 5.1 Modelo de gestión integral ambiental para el bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”.

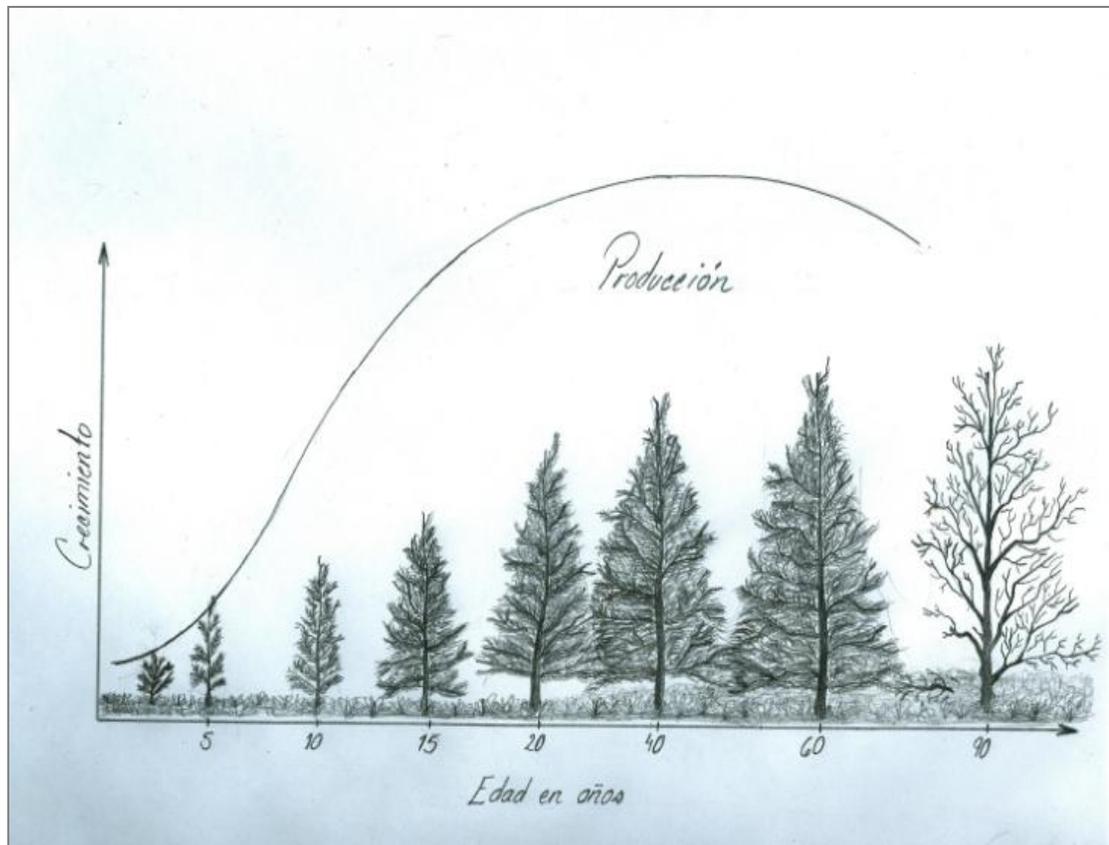
Por lo tanto el Modelo de **Gestión Integral Ambiental** tiene como objetivo el mantener y aumentar el valor económico, social y medioambiental del bosque de

oyamel desde el punto de vista de la captura y almacenamiento de carbono, en beneficio de las generaciones presentes y futuras. Lo cual implica toda una serie de consideraciones ecológicas, ambientales, socioeconómicas, técnicas y políticas.

5.3.1 Principios para la gestión del bosque de oyamel

Los principios básicos en que se basa la propuesta de gestión del bosque de oyamel son los siguientes:

- a) Los árboles como todo ser vivo, cumplen su ciclo (nacen, crecen, se desarrollan, se reproducen y finalmente mueren). Durante el crecimiento de los árboles, las tasas de captura de carbono son inicialmente crecientes, seguidas por tasas gradualmente en disminución; por lo que el bosque de oyamel alcanza su mayor eficiencia para el crecimiento y la captura de carbono en las fases juvenil y adulta (Figura 5.2).
- b) La madera se produce gracias a la fotosíntesis, y los productos de la madera siguen almacenando carbono mientras dura su ciclo vital (FAO, 2012). La captura de carbono (CO₂ atmosférico causante del calentamiento global) ocurre únicamente durante el desarrollo de los árboles, y se detiene cuando los árboles llegan a su madurez total o cuando mueren.
- c) El bosque de oyamel es un recurso natural renovable con alta capacidad para la captura y almacenamiento de carbono, que puede ser mejorado y perdurar por siempre con un buen programa de gestión, basado en el manejo forestal sustentable de los diferentes escenarios (Figura 5.3).

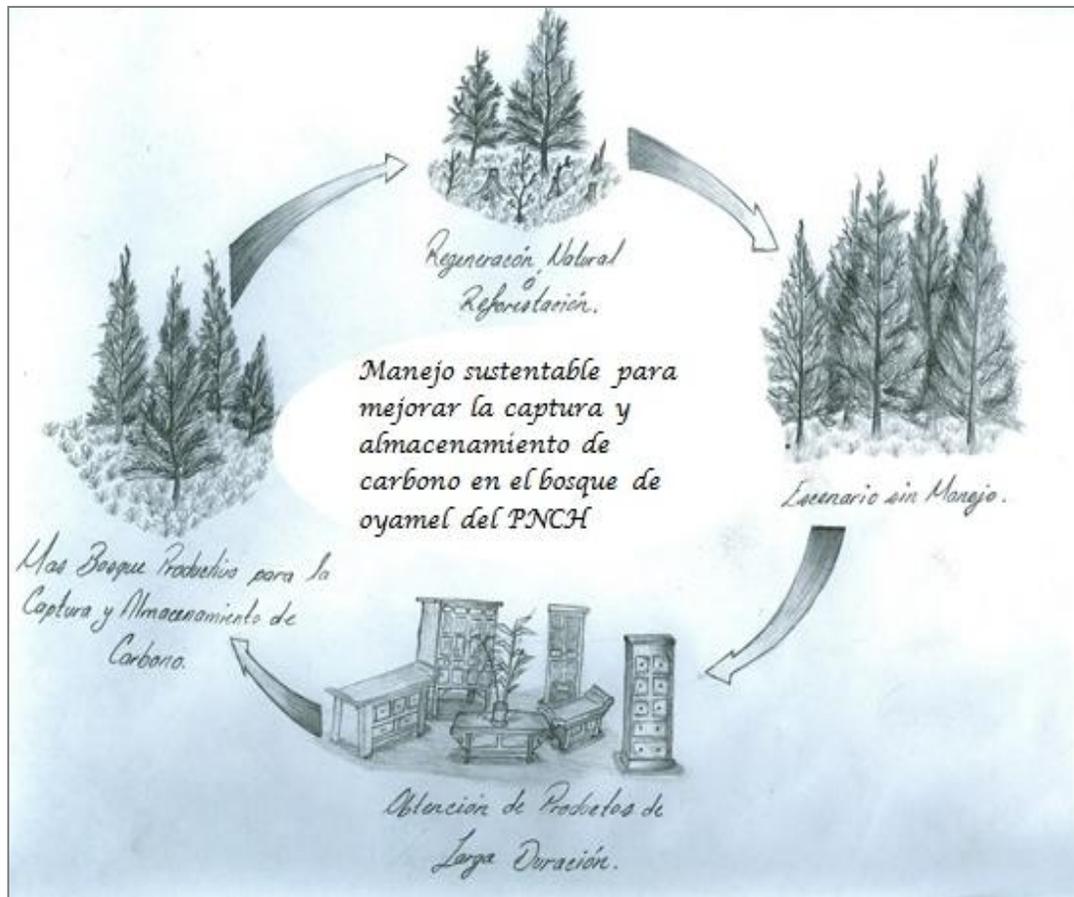


Fuente: Razo 2013

Figura 5.2 Ciclo de vida de un árbol de oyamel.

Con la madera obtenida con la aplicación de tratamientos silvícolas, se pueden elaborar productos de larga duración donde el carbono contenido en las piezas de madera puede permanecer almacenado por muchos años (Spears, 1999).

- d) *Abies religiosa*, es una especie tolerante que se establece bajo media sombra (Figura 5.4), por lo que su manejo silvícola es compatible con la conservación de la biodiversidad del bosque.



Fuente: Razo 2013

Figura 5.3 Manejo sustentable del bosque de oyamel.

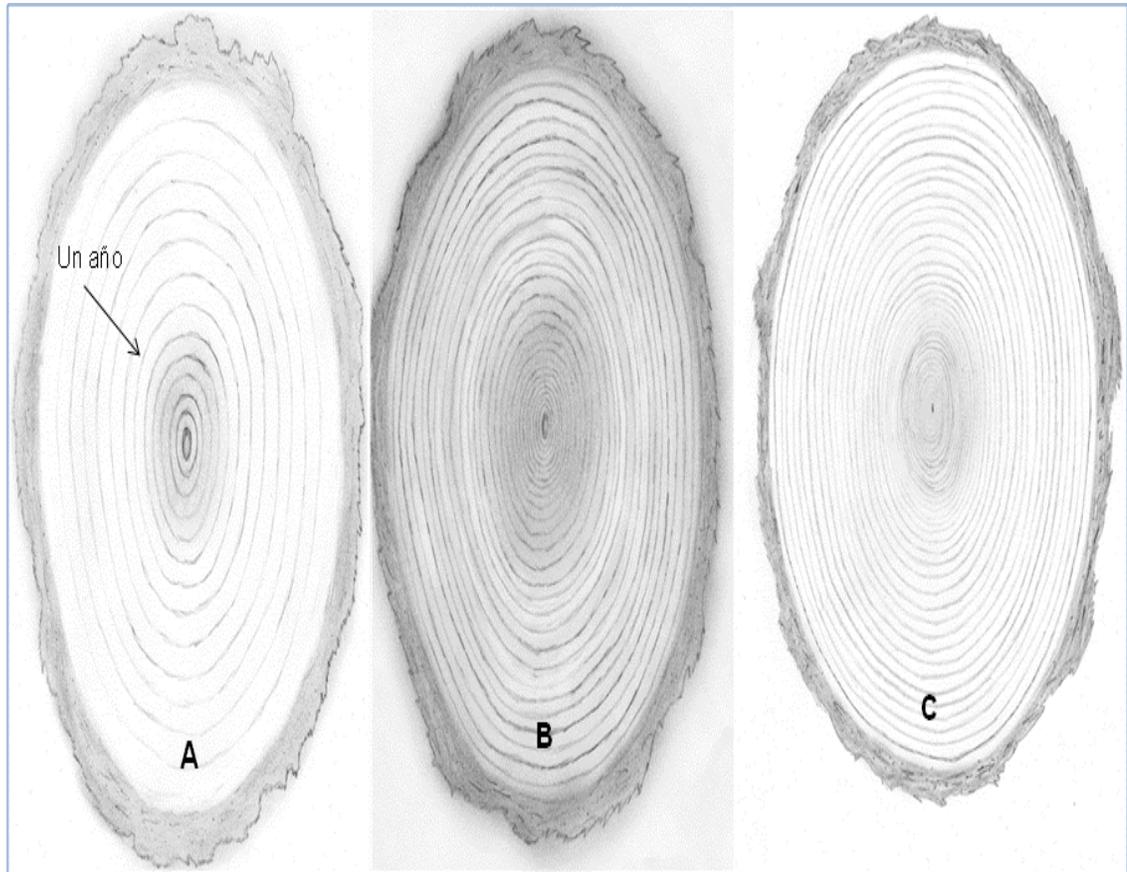
- e) La falta de manejo del bosque muestra una drástica disminución del crecimiento en biomasa y captura de carbono en los árboles maduros y sobre maduros (Figura 5.5).



Fuente: Razo 2013

Figura 5.4 Tolerancia a la sombra de *Abies religiosa*.

- f) El bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico” está constituido en su mayor parte por arbolado sobremaduro (de más de 80 años de edad), con problemas de plagas y enfermedades; cuyos crecimientos e incrementos en volumen y biomasa actualmente son poco significativos, por lo que la captura de carbono prácticamente ya no se manifiesta, estos bosques muestran una clara tendencia futura a perecer, si esperamos a que esto suceda, los costos para recuperarlos serán muy altos (Figura 5.6)



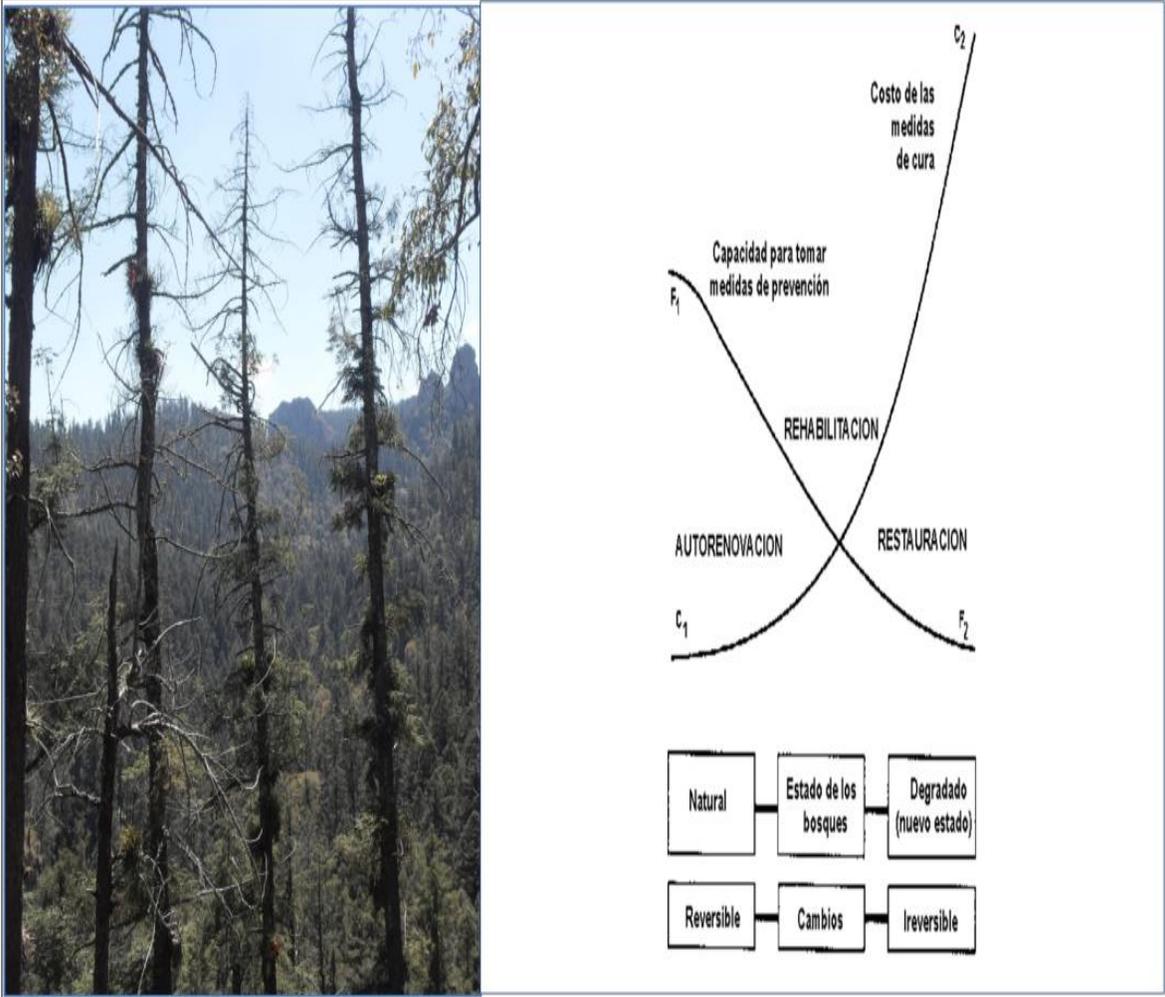
A árbol joven con manejo **B** árbol maduro sin manejo **C** árbol sobremaduro sin manejo

Fuente: Razo 2013

Figura 5.5 Crecimiento en diámetro de los árboles en diferentes condiciones.

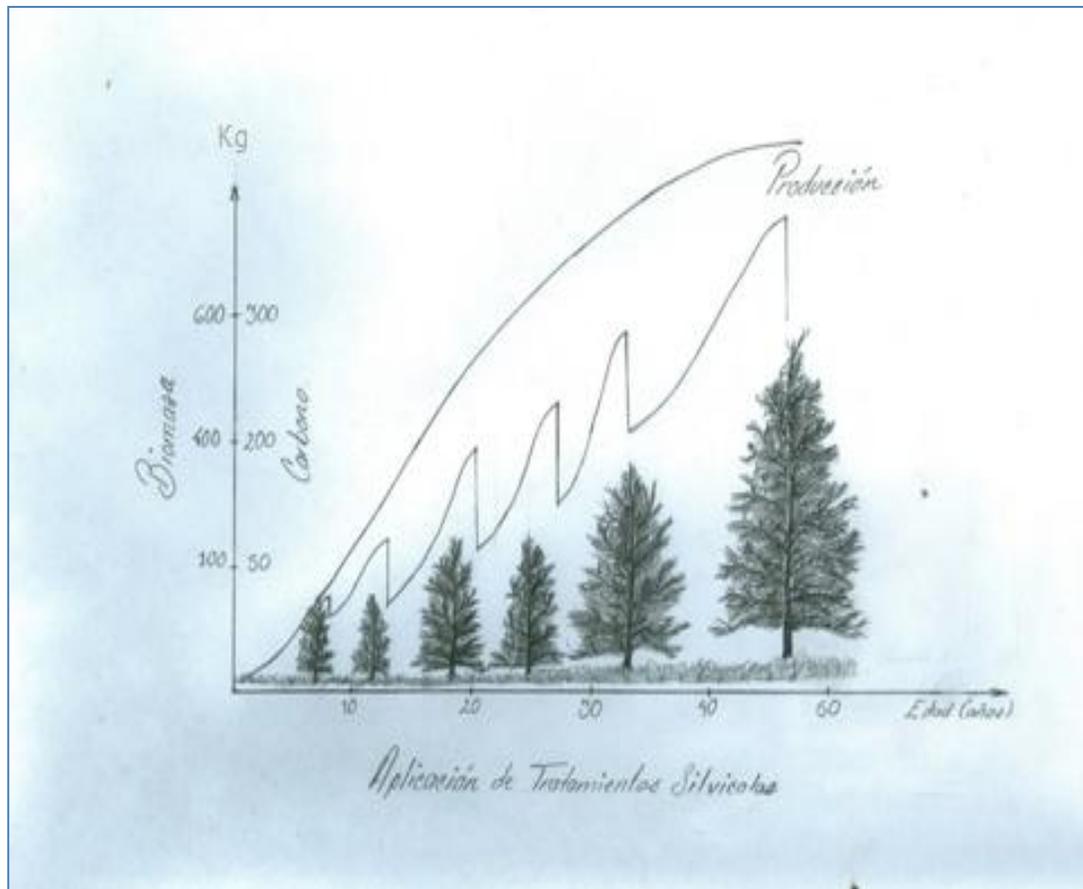
Mediante la aplicación del Modelo de Gestión, cada uno de los escenarios representativos de las condiciones actuales del bosque de oyamel deberán someterse a los tratamientos silvícolas que les correspondan en forma gradual y ordenada hasta lograr convertir el área manejada en un escenario ideal para la captura y almacenamiento de carbono (Figura 5.7). Que sería aquel en el que las masas forestales se mantuvieran dinámicas mediante la incorporación constante de biomasa al suelo producto de los árboles adultos, mientras se va estableciendo

la regeneración natural de las distintas especies y otros individuos jóvenes están en plena actividad fotosintética.



Fuente: Razo 2013 con información de Maini (1992)

Figura 5.6 Justificación económica del manejo del bosque de oyamel.



Fuente: Razo 2013

Figura 5.7 Efectos del manejo silvícola sobre el aumento de biomasa y carbono.

5.3.2 Implementación del programa

Para cambiar los escenarios actuales del bosque de oyamel a un bosque más dinámico para la captura y almacenamiento de carbono, con el programa de gestión ambiental se proponen que se deberán realizar las acciones que se describen en las tablas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4, siguientes:

Tabla 5.1 Cambio de un escenario de bosque conservado a un bosque renovado.

Escenario actual	Actividades para la transición	Escenario modificado
<p><i>Bosque Conservado</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Alta densidad de arbolado de oyamel sobre maduro, con poca capacidad de producir semilla. -Muchos árboles puntisecos y muertos en pie. - Escasa vegetación arbustiva y herbácea - Escasa o nula regeneración natural. 	<p>Extracción del arbolado adulto dando prioridad al arbolado muerto y después al puntiseco con mayor grado de afectación al de menor grado y finalmente al de mayor edad. De ser necesario reforestar con la misma especie en los claros abiertos, procurando plantar los arbolitos bajo la protección de arbustos que funcionen como especies nodrizas o que proporcionen la sombra que requieren los brinzales de oyamel para su establecimiento y desarrollo durante las primeras etapas de crecimiento.</p>	<p><i>A corto plazo:</i> Bosque menos denso con el establecimiento de hierbas y arbustos en los claros o espacios dejados por los árboles derribados, bajo los cuales se ha establecido la regeneración natural o se han plantado árboles de oyamel.</p> <p><i>A mediano plazo:</i> El renuevo de oyamel y de otras especies ya se ha establecido plenamente y ya se han realizado cortas de espaciamientos para favorecer el crecimiento en diámetro de los arbolitos, serán programadas las cortas de aclareo cuando la nueva masa pase a la etapa de latizal.</p> <p><i>A largo plazo:</i> La nueva masa forestal se encuentra en la etapa de latizal, sus incrementos en diámetro, volumen, biomasa y contenido de carbono son altos y uniformes debido a que los árboles están creciendo sin competencia. Los árboles ya comienzan a producir semillas viables para la regeneración y renovación futura del bosque.</p>

Fuente: Razo 2013

Tabla 5.2. Cambio de un escenario de bosque medianamente alterado a un bosque renovado.

Escenario actual	Actividades para la transición	Escenario modificado
<p>Bosque medianamente alterado</p> <ul style="list-style-type: none"> -Alta densidad de arbolado de oyamel maduro, con capacidad de producir semilla. -Muchos árboles puntisecos y muertos en pie. - Escasa vegetación arbustiva y herbácea - Escasa regeneración natural o abundante en los claros abiertos. 	<p>Extracción del arbolado adulto dando prioridad al arbolado muerto y después al puntiseco con mayor grado de afectación al de menor grado y finalmente al de mayor edad. De ser necesario reforestar con la misma especie en los claros abiertos, procurando plantar los arbolitos bajo la protección de arbustos que funcionen como especies nodrizas o que proporcionen la sombra que requieren los brinzales de oyamel para su establecimiento y desarrollo durante las primeras etapas de crecimiento.</p>	<p>A corto plazo: Bosque menos denso con el establecimiento de hierbas y arbustos en los claros o espacios dejados por los árboles derribados, bajo los cuales se ha establecido la regeneración natural o se han plantado árboles de oyamel</p> <p>A mediano plazo: El renuevo de oyamel y de otras especies ya se ha establecido plenamente en los claros abiertos y ya se han realizado cortas de espaciamientos para favorecer el crecimiento en diámetro de los arbolitos, serán programadas las cortas de aclareo cuando la nueva masa pase a la etapa de latizal.</p> <p>A largo plazo: La nueva masa forestal se encuentra en la etapa de latizal, sus incrementos en diámetro, volumen, biomasa y contenido de carbono son altos y uniformes debido a que los árboles están creciendo sin competencia. Los árboles ya comienzan a producir semillas viables para la regeneración y renovación futura del bosque.</p>

Fuente: Razo 2013

Tabla 5.3. Cambio de un escenario de bosque alterado a un bosque renovado.

Escenario actual	Actividades para la transición	Escenario modificado
<p><i>Bosque alterado por los incendios forestales</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Muchos árboles muertos en pie. - Baja densidad de arbolado de oyamel maduro, con capacidad de producir semilla. - Abundante vegetación arbustiva y herbácea - Abundante regeneración natural bajo los arbustos y hierbas. 	<p>Extracción del arbolado adulto utilizando la técnica de derribo direccional, con el fin de evitar dañar lo más posible al renuevo de oyamel establecido. Para el derribo del arbolado adulto se debe dar prioridad al arbolado muerto y después al de mayor grado de afectación al de menor grado y finalmente al de mayor edad.</p>	<p><i>A corto plazo:</i> Bosque renovado libre de arbolado adulto, los arbolitos que resultaron dañados por la caída de los árboles adultos ya se han saneado y se ha efectuado un pre-aclareo para disminuir la densidad de la regeneración natural de oyamel y otras especies asociadas.</p> <p><i>A mediano plazo:</i> Al nuevo bosque de oyamel y de otras especies ya se ha establecido plenamente en las áreas afectadas por los incendios forestales y ya se han realizado cortas de espaciamientos para favorecer el crecimiento en diámetro de los arbolitos, serán programadas las cortas de aclareo cuando la nueva masa pase a la etapa de latizal.</p> <p><i>A largo plazo:</i> La nueva masa forestal se encuentra en la etapa de latizal, sus incrementos en diámetro, volumen, biomasa y contenido de carbono son alto y uniformes debido a que los árboles están creciendo sin competencia. Los árboles ya comienzan a producir semillas viables para la regeneración y renovación futura del bosque.</p>

Fuente: Razo 2013

Tabla 5.4. Cambio de un escenario de bosque de exóticas a un bosque renovado.

Escenario actual	Actividades para la transición	Escenario modificado
<p>Bosque con introducción de especies exóticas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Baja densidad de arbolado de oyamel maduro, con capacidad de producir semilla. - Abundante vegetación arbustiva y herbácea. - Densidad alta de árboles de especies exóticas plantadas que amenazan con formar un ecosistema propio. 	<p>Extracción del arbolado adulto utilizando la técnica de derribo direccional, con el fin de evitar dañar lo más posible al renuevo de oyamel establecido en forma natural y arbolitos de especies exóticas plantadas. Para el derribo del arbolado adulto se debe dar prioridad al arbolado muerto y después al de mayor grado de afectación al de menor grado y finalmente al de mayor edad.</p> <p>Proponer hacer un aclareo de las especies exóticas para favorecer el establecimiento y desarrollo de la regeneración natural de <i>Abies</i> y otras especies nativas.</p>	<p>A corto plazo: Bosque renovado libre de arbolado adulto, los arbolitos que resultaron dañados por la caída de los árboles adultos ya se han saneado y se ha efectuado un pre-aclareo para disminuir la densidad de especies exóticas plantadas. Y aumentar la densidad de la regeneración natural de oyamel.</p> <p>A mediano plazo: Al nuevo bosque de oyamel y de otras especies plantadas ya se ha establecido plenamente en las áreas afectadas por los incendios forestales y ya se han realizado cortas de espaciamientos para favorecer el crecimiento en diámetro de los arbolitos, serán programadas las cortas de aclareo cuando la nueva masa pase a la etapa de latizal.</p> <p>A largo plazo: La nueva masa forestal se encuentra en la etapa de latizal, sus incrementos en diámetro, volumen, biomasa y contenido de carbono son altos y uniformes debido a que los árboles están creciendo sin competencia. Los árboles ya comienzan a producir semillas viables para la regeneración y renovación futura del bosque.</p>

Fuente: Razo 2013

5.3.3 Identificación y valoración de impactos ambientales

Como la gestión ambiental es una herramienta que busca integrar las actividades del ser humano en una forma sostenible, logrando una mejor calidad de vida, previniendo y mitigando los impactos ambientales que se puedan generar por dichas actividades, en este proyecto, y como una de las aportaciones al nuevo conocimiento científico, se utilizó por vez primera, la Matriz Modificada de Leopold (1971), con la que se efectuó la identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales que se generarán en cada uno de los escenarios con la implementación del Modelo de Gestión.

Para identificar y evaluar los impactos ambientales que se encuentran asociados al proyecto en la Matriz Modificada de Leopold (1971) se relacionó mediante un arreglo de triple entrada, los componentes ambientales susceptibles de ser impactados (eje vertical izquierdo), las actividades generadoras de los impactos en las diferentes etapas del proyecto (eje vertical derecho) y las características de los impactos (eje horizontal).

Para facilitar la identificación, evaluación y valoración de los impactos ambientales, se utilizó la Matriz de Leopold modificada por Hernández Muñoz (código de colores) 1980. Con éste código el **color verde** nos indica que los impactos son nulos o imperceptibles a simple vista, el **color amarillo** representa un impacto bajo que es aquel que se manifiesta de manera localizada, es temporal y sus efectos negativos se pueden mitigar o revertir de manera natural o con actividades de bajo costo, un **color naranja** se refiere a un impacto medio en el que los efectos de las actividades de gestión se notan a simple vista, son extensivos y de mayor duración, pero existen medidas de mitigación con costos moderados a

altos. Finalmente se utilizó un **color rojo** para representar un impacto alto cuando los efectos de las actividades de gestión, son extensivas, de larga duración y en algunos casos irreversibles o cuando los costos de las medidas de mitigación son altos.

Como los impactos ambientales no siempre son negativos, por ello de nuevo se usó la Matriz de Leopold modificada por Hernández Muñoz (código de colores) y modificada por Gordillo (agregando los signos positivo y negativo), el signo (+) para indicar que se trata de un impacto positivo y el signo (-) para impactos negativo (Hernández *et al.*, 2006).

5.3.3.1 Cambio de escenario de bosque conservado a bosque productivo

Los impactos ambientales que generará la gestión del bosque de oyamel en el cambio de un escenario de bosque conservado a un bosque renovado se muestran en la figura 5.8.

De acuerdo con los datos que se muestran en la matriz los impactos ambientales que puede generar el proyecto de gestión para el “cambio de escenario de bosque conservado a bosque renovado”, son los siguientes:

El suelo también se verá afectado durante la etapa de operación del proyecto por las actividades de corta, arrime, carga y transporte de la madera por la compactación sufrida por la caída y arrastre de los árboles, lo que ocasionará en forma indirecta impermeabilidad de los suelos, y si no se tienen los cuidados necesarios provocará erosión en las partes sueltas de terrenos con pendientes fuertes.

Matriz de impacto ambiental																					
Cambio de escenario bosque conservado a escenario bosque renovado																					
			OPERACIÓN					MANTENIMIENTO													
			ACTIVIDADES	MARQUEO	DERRIBO	TROCEO	ARRIME	CARGA	EXTRACCIÓN DE PRODUCTOS	CONTROL DE DESPERDICIOS	CAMINOS	BRECHAS CORTA FUEGO	CERCADO								
FACTORES AMBIENTALES																					
SUBSISTEMAS	FACTOR	COMPONENTE																			
FÍSICOS	SUELO	COMPACTACIÓN																			
		EROSIÓN																			
		CONTAMINACIÓN																			
	AGUA	CALIDAD																			
		RECARGA																			
		DRENAJE																			
	AIRE	CALIDAD																			
		CORRIENTES																			
		RUIDO																			
BIOLÓGICOS	FLORA	DIVERSIDAD																			
		RIESGOS DE INCENDIO																			
		ABUNDANCIA																			
	FAUNA	DISTRIBUCIÓN																			
		ABUNDANCIA																			
		HABITAT																			
MEDIO PERCEPTUAL	PAISAJE	CUALIDADES ESTÉTICAS																			
SOCIOECONÓMICOS Y CULTURALES	POBLACIÓN	GENERACIÓN DE EMPLEOS																			
		SERVICIOS AMBIENTALES																			
		NIVEL DE INGRESOS																			
		BIENESTAR																			
		RIESGOS																			

Fuente: Razo 2013

Figura 5.8 Matriz de identificación y valoración de impactos ambientales de Leopold modificada por Hernández Muñoz y modificada por Gordillo Martínez, A. J. (2006) para analizar por vez primera con ésta metodología el cambio de escenario de bosque conservado a bosque renovado.

Los camiones utilizados para la extracción de la madera, pueden contaminar el aire por la emisión de gases a la atmósfera si no se les da mantenimiento adecuado (afinaciones, etc.), y no cuentan con equipo purificador o reductor de emisiones.

El mantenimiento de caminos y brechas de saca, carga y transporte de la madera, afectará en forma directa a algunas características de los suelos sobre los cuales se han construido las brechas y caminos. El tránsito de los camiones madereros compactará el suelo haciéndolo impermeable, por lo que el agua de lluvia tenderá a escurrir sobre esta superficie contribuyendo en forma indirecta a la erosión de las partes sueltas del terreno si no tienen las cunetas y obras de arte adecuadas (sobre todo en las áreas de lomerío).

Estas actividades también pueden causar en forma indirecta y temporal la contaminación de los suelos por el derrame de líquidos, combustibles y desechos sólidos (latas de aceite, etc.). El terreno también se puede ver afectado durante la construcción de obras de arte por los desperdicios derivados de la construcción (cemento, cal, fierro, etc.).

El área de captación de agua de lluvia y la cantidad de agua captada se verá afectada en una pequeña parte y en forma temporal por las actividades relacionadas a la remoción de vegetación; en el caso del área donde se extraerán los árboles adultos, la superficie quedará desprovista de la cubierta vegetal sólo por unos meses debido a que las altas precipitaciones y abundante humedad relativa que se registran en la zona a lo largo de casi todo el año favorecerá el establecimiento de la cubierta herbácea y la aparición de la regeneración natural

de *Abies religiosa* en forma rápida, lo que en un corto plazo ayudará a incrementar la efectividad del área de captación de agua de lluvia.

En lo que respecta a los factores biológicos, la flora del lugar en sus diferentes estratos se verá afectada por el desarrollo del proyecto de gestión con las actividades de derribo de algunos individuos del estrato arbóreo y construcción de carriles de arrime donde la vegetación se eliminará en su totalidad. En la limpieza de brechas de saca y brechas corta-fuego, la cubierta vegetal se afectará en forma temporal, mientras se extrae la madera del área y durante el período de sequía para el caso de las brechas corta-fuego.

La fisonomía de los rodales aclareados se modificará en forma temporal, debido a la reducción de la densidad y apertura del dosel superior.

En general, las especies vegetales se verán beneficiadas con la apertura y mantenimiento periódico de las brechas corta-fuego en las áreas bajo manejo forestal, con lo cual las áreas en proceso de renovación se protegerán de los incendios forestales al igual que todo el Parque.

La fauna silvestre que existe en la zona se verá afectada con la ejecución de algunas actividades, como la rehabilitación de caminos y brechas de saca, carriles de arrime, obras de arte, corte, carga y transporte, las que además de alterar el área por la eliminación de la cubierta vegetal, ocasionarán ruidos y crearán barreras físicas que pueden limitar el desplazamiento de la fauna silvestre, principalmente la terrestre. Con la apertura de las áreas a renovar se modificarán en forma temporal las zonas de reproducción, refugios y corredores, tanto de la fauna terrestre como de las aves; además dicha fauna deberá emigrar temporalmente a las áreas aledañas.

La alteración a los factores estéticos de la zona serán mínimos debido a que se aplicará una intensidad de corta baja.

Es posible que en forma general, la instrumentación y ejecución del proyecto de aprovechamiento de arbolado en sus diferentes etapas, genere controversias entre la población por la falta de cultura forestal y/o conocimiento sobre los cuidados que se tendrán que llevar a cabo para lograr el establecimiento y desarrollo de las nuevas masas de oyamel y la conservación de los recursos asociados al bosque.

En el aspecto económico, la instrumentación y ejecución del proyecto impactará en forma positiva a la población al generar fuentes de empleo y beneficios económicos para los habitantes de la zona durante todo el año, ayudando con esto a reducir la alta emigración, particularmente los jóvenes, a las ciudades y zonas urbanas.

5.3.3.2 Cambio de escenario de bosque mediamente alterado a bosque productivo

Los impactos ambientales serán menos drásticos que la situación anterior debido a que en este escenario ya se ha establecido la regeneración natural bajo la cubierta arbustiva y herbácea, producto de la apertura natural de claros, sin embargo pueden existir algunos árboles adultos dentro de dichos claros, que será necesario extraer para liberar al nuevo bosque de la competencia y favorecer su desarrollo.

A diferencia del escenario anterior, el impacto visual será mínimo debido a que los claros no serán muy grandes y estarán rodeados por arbolado vivo.

Los impactos más notorios serán sobre el renuevo de oyamel o vegetación aledaña que podrá ser afectada con el derribo de los arboles adultos y la extracción de la madera. El suelo se compactará en los sitios de caída de los árboles y en las áreas de carga. La erosión del suelo será mínima debido a que los claros abiertos ya contarán con regeneración natural establecida.

5.3.3.3 Cambio de escenario de bosque alterado por los incendios forestales a bosque productivo

Los impactos ambientales negativos mayores se presentan en estos sitios con los incendios forestales donde a causa del fuego se consumen la vegetación herbácea y arbustiva y un gran número de árboles adultos, con lo que el paisaje se modifica drásticamente y los efectos a la fauna silvestre son sumamente fuertes, pues se destruyen madrigueras, nidos y mueren crías así como algunos individuos mayores que no logran escapar del fuego.

El suelo queda descubierto por lo que la erosión es manifiesta en los sitios con pendientes fuertes. Con el fuego se consumen la materia orgánica y se pierde la fertilidad del sitio, pero esta situación también favorece a que las semillas provenientes de los árboles que logran sobrevivir al siniestro estén en contacto directo con el suelo y puedan germinar rápidamente, estableciéndose el renuevo de oyamel y de otras especies a altas densidades.

Es a partir del escenario alterado con alta densidad de renuevos como se hace la identificación y valoración de los impactos ambientales producidos con el cambio de escenarios para hacer más eficiente el bosque para la captura y almacenamiento de carbono.

El derribo de los árboles muertos en pie y los individuos adultos que lograron sobrevivir al siniestro afectará de manera directa a algunos árboles jóvenes que se han establecido en el sitio. La caída de los arboles adultos compactará el suelo del sitio de caída, el arrastre de la trocería causará la remoción del suelo favoreciendo la erosión hídrica. La carga y transporte también compactará el suelo.

El impacto visual será bajo debido a que el renuevo de oyamel y de otras especies se ha establecido a altas densidades con lo que se cambiará el aspecto de un bosque afectado por los incendios a un bosque renovado.

5.3.3.4 Cambio de escenario de bosque alterado con introducción de especies exóticas a bosque productivo

Después de que se presenta un incendio forestal, el panorama es desolador y generalmente lo que primero se piensa es que todo el arbolado adulto morirá de forma inmediata o con el paso de los días con el ataque de plagas o enfermedades y que con ello ya no existirán semillas para el establecimiento de la regeneración natural del oyamel; por lo que se recurre a reforestar los sitios afectados con especies exóticas que se adapten y desarrollen rápidamente para repoblar las áreas afectadas, generalmente algunos de los arboles adultos de oyamel y otras especies nativas logran sobrevivir y dispersan semillas que germinan bajo la cobertura de los árboles plantados, por lo que al paso del tiempo las densidades son muy altas. Pero en realidad ese no es el verdadero problema, más bien se tiene que analizar el efecto futuro de las especies introducidas sobre la diversidad de especies nativas y del oyamel de esta ANP. Entre las especies exóticas que se han venido utilizando para repoblar las áreas afectadas por los incendios se encuentran *Cupressus lusitanica* y *Pinus patula*, siendo esta última la

que más preocupa debido a que en las áreas donde la vegetación es consumida por el fuego, con el aumento de la temperatura los conos seróticos de los árboles adultos abren y dispersan grandes cantidades de semillas que germinan con las lluvias y se establecen los renuevos satisfactoriamente debido a que *Pinus patula* es una especie heliófila sumamente adaptada a los incendios forestales. Aunque el oyamel se puede establecer bajo la cubierta de los pinos, cuando la masa llega a la etapa del brinzal se comienza a manifestar una alta competencia por luz y nutrientes del suelo, con lo que muchos de los árboles de las especies nativas llegan a ser suprimidas y mueren por la falta de luz que requieren en estas etapas de desarrollo para realizar la fotosíntesis. Sin embargo los árboles de *Pinus patula* seguirán creciendo y como es una especie precoz para la producción de conos y semillas, seguirán repoblando algunos claros que lleguen a abrir tanto en las áreas inicialmente afectadas por los incendios como en las aledañas, con lo que irá ganando terreno y desplazando al oyamel para formar con el tiempo bosques puros de pino.

Aunque el *Cupressus* se ha adaptado a los sitios siniestrados tiene menor capacidad que el *Pinus patula* para repoblar los sitios afectados y requiere de suelos más profundos.

5.3.4 Medidas de mitigación

Para los escenarios que les corresponda se deben considerar las medidas de mitigación siguientes:

Para disminuir la compactación del suelo, se deberá realizar el derribo del arbolado adulto en forma direccional y ordenada dirigiendo su caída hacia los caminos, senderos o zonas libres de vegetación. No se deberán abrir nuevos

caminos para la extracción de las trozas, por lo que de ser necesario la madera se extraerá a medianamente aserrada con la ayuda de animales. Para evitar la formación de canales erosivos, la madera o trozas se deberán extraer del sitio de forma transversal a la pendiente del terreno y para controlar la erosión del suelo, los desperdicios derivados de los árboles derribados o trozas que no puedan ser extraídas se acomodaran en forma perpendicular a la pendiente del terreno. Con el fin de evitar la contaminación del suelo y agua se deberán evitar los derrames de aceites y combustibles al suelo y se extraerán de las áreas de corta los residuos sólidos (envases de aceites, envases de plásticos, etc).

Como medida de protección a la flora, se deberá evitar derribar árboles que no estén marcados por el responsable técnico de la ejecución del proyecto, aplicar la técnica de derribo direccional para reducir los daños a la vegetación del área bajo manejo silvícola, evitar realizar carriles de arrime demasiado amplios para la extracción de la trocería y evitar quemar los desperdicios que se generen.

Para el control de las especies exóticas (*Pinus patula* y *Cupressus lusitanica*) que se han introducido y establecido en las áreas siniestradas por los incendios forestales, durante la aplicación de los preaclareos se deberán eliminar los arboles de éstas especies que se encuentren cercanos a individuos de las especies nativas (*Abies religiosa*, *Quercus* spp. y otras especies), con el fin de reducir la densidad de las especies exóticas y favorecer el desarrollo de las nativas y la recuperación de la condición original del bosque. Durante la aplicación de los aclareos se deberá seguir con la prioridad de extraer durante cada intervención el mayor número posible de árboles exóticos, principalmente aquellos que ya estén produciendo frutos y semillas viables. Cuando esta última actividad no se pueda

realizar por que en algunos sitios sean los únicos árboles que se han establecido entonces se deberán aplicar podas de ramas que contengan frutos y semillas.

Para el caso de la protección a la fauna silvestre, se respetaran los árboles que sea necesario extraer que presenten madrigueras o nidos y durante la aplicación de preaclareos y aclareos se dejaran en el sitio un número considerable de árboles y arbustos productores de frutos y semillas que sirven de alimento para la fauna silvestre.

Cuando sea necesario aplicar un producto químico para el control de alguna plaga o enfermedad presente en los arboles a extraer, se buscará que este sea un producto permitido y lo menos dañino posible para el ambiente.

Se deberá evitar el establecer campamentos de los trabajadores dentro de las áreas bajo manejo con el fin de evitar ahuyentar a la fauna silvestre y contaminar con basura.

Los trabajadores deberán abstenerse de llevar perros a las áreas de trabajo ya que estos pueden consumir huevos o crías o ahuyentar a la fauna silvestre.

Las áreas de trabajo no serán de grandes extensiones ni continuas con el fin de que no se concentren los ruidos de las motosierras y camiones madereros en una sola zona.

Así mismo los trabajos se realizarán durante las horas del día, evitando afectar cualquier actividad que pueda molestar a la fauna durante la noche.

Los trabajadores deberán de abstenerse de extraer de las áreas de trabajo y del ANP en general cualquier ejemplar de flora y fauna, o algunas de sus partes para el caso de la vegetación.

Para reducir las afectaciones al paisaje, la aplicación de los tratamientos de gestión integral para cada escenario se efectuará en áreas discontinuas, evitando generar superficies compactas demasiado grandes.

Durante la extracción y transporte de los productos hacia los aserraderos o talleres de carpintería, los camiones madereros deberán portar mantas con leyendas en las que se indique el objetivo de la gestión integral ambiental del bosque de oyamel.

Como una medida para beneficiar a los pobladores de la región, la madera que se pueda extraer de las áreas bajo manejo de los distintos escenarios, se utilizará para la elaboración de vigas y otras piezas de madera para la construcción de cabañas y muebles de larga duración (donde el carbono quedará almacenado por muchos años), con lo cual se crearán fuentes de empleo.

Para que la aportación de los bosques a la construcción de un futuro sostenible sea objeto de mayor reconocimiento y aceptación, hay que hacer mucho para estimular cambios en la imagen que tienen las autoridades y el público general de los bosques y la población que depende de ellos (FAO, 2012), por lo que se deberá implementar un programa permanente de Educación Ambiental en el que se difunda la necesidad de renovar el bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico” para aumentar la eficiencia del mismo en la captura de carbono y la provisión de otros servicios ambientales, pero sobre todo para garantizar su permanencia en beneficio de la población actual y las futuras generaciones.

5.4. LITERATURA CITADA

- Hernández M. A., P. Hernández L. y A. J. Gordillo M. 2006. Manual para la Evaluación de Impactos Ambientales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid. Ed. TIASA. Madrid.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2010. La gestión de los bosques ante el cambio climático. Roma. 20 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).2012. El estado de los bosques del mundo. Roma Italia.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 1995. Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas. Cuaderno de trabajo número 4.
- Leopold L.B., F.E. Charke, B. B. Hanshaw y J. R. Balsley. 1971. A procedure for evaluating environmental impact. Geological Survey. Circular 645.
- Maini J.S. 1992. Desarrollo sostenible de los bosques. Unasyva 169(43).
- Spears J. 1999. Sustainable forest management: an envolving goal. The world Bank. Washington, D.C. USA.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Por su ubicación estratégica y el tipo de vegetación que sustenta, el Parque Nacional “El Chico” además de cumplir con los objetivos de un Área Natural Protegida, proporciona múltiples servicios ambientales entre los que destacan la captura de carbono.

Para estimar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa de *Abies religiosa*, se determinó su coeficiente de carbono y se utilizó en este estudio para efectuar los cálculos del carbono almacenado en los diferentes escenarios. Si se requieren datos más precisos para la estimación del contenido de carbono de la parte aérea del bosque de oyamel, se recomienda utilizar los coeficientes de carbono obtenidos en este trabajo para *Abies religiosa* y las diferentes especies de arbustos y hierbas que conforman el bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico”.

Cuando se tiene alguna restricción para el cálculo o estimación de la biomasa y carbono mediante métodos destructivos, como en el caso de esta Área Natural Protegida, se puede recurrir al uso de ecuaciones matemáticas desarrolladas por los investigadores para la misma especie y región o bien desarrollar modelos a partir de variables de fácil medición en campo como el diámetro o altura de los árboles como los obtenidos en este trabajo, los cuáles muestran un buen ajuste y se pueden utilizar también en áreas siniestradas por los incendios forestales.

Actualmente los escenarios de “bosque conservado” y “bosque medianamente alterado” muestran una nula y regular presencia de regeneración natural,

respectivamente, mientras que el escenario “bosque alterado por los incendios forestales” y el de “bosque con introducción de especies exóticas” muestran una alta densidad de regeneración natural e introducida, respectivamente, por lo que la presencia de arbolado joven es proporcional a la cantidad de carbono capturado debido a que el renuevo realiza mayor actividad fotosintética que el arbolado adulto.

El bosque de oyamel del parque está constituido en su mayor parte por masas puras sobre maduras de más de 80 años de edad, con fuertes problemas de plagas y áreas afectadas por los incendios forestales donde es urgente la renovación del bosque mediante la implementación del modelo de gestión integral ambiental desarrollado para este bosque con el fin de reactivar la captura de carbono en el renuevo establecido y mejorar el almacenamiento del mismo a través del tiempo, tanto en el arbolado como en los muebles y productos de madera de larga vida útil, elaborados de los árboles que de acuerdo al programa de gestión se tengan que extraer de los diferentes escenarios del bosque de oyamel.

Como una propuesta para cambiar los escenarios actuales del bosque de oyamel a un bosque más dinámico para la captura y almacenamiento de carbono, con el programa de gestión ambiental se realizó un análisis prospectivo considerando las características del bosque en el escenario actual, las actividades silvícolas que se deben realizar como parte de la transición y como se tendrá el escenario modificado del bosque en un corto, mediano y largo plazo. Para cubrir la parte ambiental del proyecto se recomienda realizar la identificación y valoración de los impactos ambientales que la ejecución del proyecto de gestión puede ocasionar

en sus diferentes etapas y proponer medidas de mitigación compatibles con los objetivos del Área Natural Protegida, utilizando las metodologías propuestas en este estudio.

Para que la aportación de los bosques a la construcción de un futuro sostenible sea objeto de mayor reconocimiento y aceptación, hay que hacer mucho para estimular cambios en la imagen que tienen las autoridades y el público general de los bosques y la población que depende de ellos, por lo que se deberá implementar un programa permanente de Educación Ambiental en el que se difunda la necesidad de renovar el bosque de oyamel del Parque Nacional “El Chico” para aumentar la eficiencia del mismo en la captura de carbono y la provisión de otros servicios ambientales, pero sobre todo para garantizar su permanencia en beneficio de la población actual y las futuras generaciones.