



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS**

**"CARBONO ALMACENADO COMO SERVICIO
ECOSISTÉMICO Y CRITERIOS DE RESTAURACIÓN, EN
EL BOSQUE DE ABIES RELIGIOSA DE LA CUENCA DEL
RÍO MAGDALENA, D.F."**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

**PRESENTA
MARIANA ZARETH NAVA LÓPEZ**

DIRECTORA DE TESIS: DRA. LUCIA ALMEIDA LEÑERO

MÉXICO, D.F.

MAYO 2006

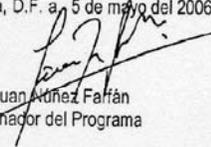
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 21 de noviembre del 2005, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) de la alumna **Nava López Mariana Zareth** con número de cuenta 98552960 con la tesis titulada: "**Carbono almacenado como servicio ecosistémico y criterios de restauración, en el bosque de Abies religiosa de la Cuenca del Río Magdalena, D.F.**" bajo la dirección de la **Dra. Lucía Almeida Leñero**

Presidente: Dr. Omar Raúl Masera Cerutti
Vocal: Dr. Víctor Joaquín Jaramillo Luque
Secretario: Dra. Lucía Almeida Leñero
Suplente: Dra. Irma Trejo Vázquez
Suplente: M. en C. Julia Carabias Lillo

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a, 5 de mayo del 2006


Dr. Juan Adán Farián
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente del interesado

Edif. de Posgrado P.B. (Costado Sur de la Torre II de Humanidades) Ciudad Universitaria C.P. 04510 México, D.F.
Tel: 5623 0173 Fax: 5623 0172 <http://pcbiol.posgrado.unam.mx>

Se agradece ampliamente las becas otorgadas por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (181858-CONACYT), la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP), por la Comisión Nacional Forestal (Conafor-2003-C03-10196/A-1) y por la fundación PACKARD, mismas que permitieron la realización del programa de maestría en Ciencias Biológicas.

La presente investigación forma parte del macroproyecto: Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano, Universidad Nacional Autónoma de México, SDEI-PTID-02.

El Comité Tutoral del presente trabajo de investigación estuvo integrado por:

- Dra. Lucía Almeida Leñero
- Dr. Omar Raúl Masera Cerutti
- M. en C. Julia Carabias Lillo
- Dra. Lourdes Villers Ruiz

ÍNDICE

	Página
I RESUMEN	1
II INTRODUCCIÓN	2
III MARCO TEÓRICO	
▪ Restauración ecológica y servicios ecosistémicos	5
▪ Captura de carbono: un servicio de regulación	7
IV ANTECEDENTES	
▪ El género <i>Abies</i> en México	10
▪ El bosque de <i>Abies religiosa</i>	11
▪ El bosque de <i>Abies religiosa</i> en la CRM	13
V ÁREA DE ESTUDIO	
▪ Características generales	15
▪ Relieve	16
▪ Geología	16
▪ Hidrología	17
▪ Suelos	17
▪ Clima	17
▪ Vegetación	18
▪ Influencia humana	19
VI MÉTODOS	
▪ Caracterización del bosque de <i>Abies religiosa</i>	20
▪ Parámetros estructurales	21
▪ Análisis de las condiciones ambientales del bosque	23
▪ Estimación del contenido de carbono	23
▪ Obtención de información del manejo del bosque	26
▪ Identificación de propuestas de restauración	27
VII RESULTADOS	
▪ Densidad arbórea	28
▪ Área basal	29
▪ Estructura diamétrica	30
▪ Estructura vertical	32
▪ Estimación del contenido de carbono	35
▪ Condiciones ambientales del bosque de <i>Abies religiosa</i>	37
▪ Uso y manejo del bosque de <i>Abies religiosa</i>	41
VIII DISCUSIÓN	

▪ El bosque de <i>Abies religiosa</i> de la CRM	43
▪ Carbono almacenado como servicio ecosistémico	47
▪ Propuestas de manejo del bosque de <i>Abies religiosa</i>	49
IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
X. REFERENCIAS	56
XI. ANEXOS	62
1. Datos de campo tomados para el bosque de <i>Abies religiosa</i> de la CRM.	63
2. Matriz de correlación de Pearson.	65
3. Tabla fitosociológica del bosque de <i>Abies religiosa</i> de la CRM (Tomado de Nava, 2003)	66
4. Matriz de Propuestas de manejo para el bosque de <i>Abies religiosa</i> de la CRM.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación de la cuenca del río Magdalena, D.F., México.....	15
Figura 2.	Gráfica de precipitación y temperatura para la estación Presa Ansaldo.....	18
Figura 3.	No. de individuos muestreados por sitio de muestreo (625 m ²).....	28
Figura 4.	Área basal m ² /ha por asociación vegetal en la CRM.....	30
Figura 5.	Distribución diamétrica del bosque de <i>Abies religiosa</i> de la CRM.....	30
Figura 6.	Distribución diamétrica de la asociación de <i>Senecio angulifolius-Abies religiosa</i> de la CRM.....	31
Figura 7.	Distribución diamétrica de la asociación de <i>Acaena elongata-Abies religiosa</i> de la CRM.....	31
Figura 8.	Distribución diamétrica de la asociación de <i>Senecio cinerarioides-Abies religiosa</i> de la CRM.....	32
Figura 9.	Distribución vertical del bosque de <i>Abies religiosa</i> de la CRM.....	32
Figura 10.	Distribución vertical de la asociación de <i>Senecio angulifolius-Abies religiosa</i> de la CRM.....	33
Figura 11.	Distribución vertical de la asociación de <i>Acaena elongata-Abies religiosa</i> de la CRM.....	34
Figura 12.	Distribución vertical de la asociación de <i>Senecio cinerarioides-Abies religiosa</i> de la CRM.....	34
Figura 13.	No. de individuos con respecto a la orientación en el bosque de <i>Abies religiosa</i> de la CRM.....	40
Figura 14.	Relación de la orientación con el área basal en el bosque de <i>Abies religiosa</i> de la CRM.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Comunidades y asociaciones de la cuenca del río Magdalena, D.F., México...	18
Tabla 2 a y b.	Clases de diámetro (a) y altura (b) en el bosque de <i>Abies religiosa</i> de la CRM.	23
Tabla 3.	Variables utilizadas para la caracterización del bosque de <i>Abies religiosa</i> de la CRM.....	23
Tabla 4.	Densidad de individuos por asociación vegetal para la CRM.....	29
Tabla 5.	Área basal (m ²) calculada por asociación vegetal para la CRM.....	29
Tabla 6.	Biomasa (ton) total y por asociación del bosque de <i>Abies religiosa</i> de la CRM.....	35
Tabla 7.	Contenidos de carbono por unidad de muestreo en el bosque de <i>Abies religiosa</i> de la CRM.....	35
Tabla 8.	Mediana de los datos del bosque de <i>Abies religiosa</i> en la CRM.....	36
Tabla 9.	Contenido de carbono por asociación vegetal del bosque de <i>Abies religiosa</i> de la CRM.....	37
Tabla 10.	Características de los sitios correspondientes a la asociación de <i>Senecio angulifolius-Abies religiosa</i> de la CRM.....	38
Tabla 11.	Características de los sitios correspondientes a la asociación <i>Acaena elongata-Abies religiosa</i> de la CRM.....	39
Tabla 12.	Características de los sitios correspondientes a la asociación de <i>Senecio cinerarioides-Abies religiosa</i> de la CRM.....	39

Tabla 13.	Correlación de la orientación y el número de individuos de <i>Abies religiosa</i> de la CRM.....	40
Tabla 14.	No. de tocones y árboles muertos en pie por asociación vegetal en la CRM....	41
Tabla 15.	Unidades y asociaciones vegetales del bosque de <i>Abies religiosa</i> de la CRM...	42

I. RESUMEN

La cuenca del río Magdalena, alberga al único río vivo de la Ciudad de México por lo que resulta esencial el mantenimiento y recuperación de su cobertura vegetal. Ocupa una extensión de 2925 ha entre los 2570 y los 3850 m snm, que corresponde al 4 % del suelo de conservación del D.F. en donde predominan bosques de pino, encino y oyamel. Su ubicación dentro de una ciudad con grandes índices de contaminación, hace de este ecosistema un pulmón para la ciudad que ayuda a mitigar los gases de efecto invernadero. Cuenta con 1433 ha de bosque de *Abies religiosa* en donde se reconocen tres asociaciones vegetales: *Senecio angulifolius*, *Acaena elongata* y *Senecio cinerarioides*, estas dos últimas indican deterioro en la zona principalmente por actividades humanas como el pastoreo e incendios. A partir de 28 levantamientos fitosociológicos, se caracterizó al bosque de *Abies religiosa* de acuerdo a sus atributos físicos y biológicos. Se hicieron estimaciones del contenido de carbono a partir del volumen, para todo el bosque y por asociación vegetal. Este bosque corresponde estructuralmente a un bosque natural joven cuyo desarrollo se ve influenciado por la tala clandestina y el fuego no controlado. *Senecio angulifolius-Abies religiosa*, es la asociación dominante que presenta la mayor productividad por la alta regeneración existente con contenidos de carbono que oscilan de medio a alto (68 tC/ha.). *Acaena elongata-Abies religiosa* es una asociación joven con tendencia a la madurez representada en pequeños manchones y cuyos contenidos de carbono son altos (117 tC/ha.). *Senecio cinerarioides-Abies religiosa* es la asociación con mayor deterioro con baja densidad arbórea y alto número de tocones e individuos muertos en pie, que se traducen en contenidos de carbono bajos (13 tC/ha). A partir de esta información se plantean propuestas de restauración para el mantenimiento del servicio ecosistémico de captura de carbono, que promuevan la regeneración natural a partir de la adecuada dosificación de la luz y remoción de materia orgánica, controlando los diferentes estados sucesionales en los que se encuentra el bosque. Se recomienda hacer un análisis costo-beneficio de restaurar el bosque, a partir del servicio ecosistémico de captura de carbono.

Palabras clave: *Abies religiosa*, carbono almacenado, restauración ecológica, servicios ecosistémicos, cuenca del río Magdalena.

II. INTRODUCCIÓN

La humanidad enfrenta actualmente una crisis mundial por la inadecuada utilización de los recursos naturales y la desigualdad social, y económica (Leff, 1998). Como consecuencia de esto, ha disminuido paulatinamente la biodiversidad, llevando consigo la pérdida de los servicios ecosistémicos que de manera natural y casi imperceptible se han obtenido a lo largo de la historia de la humanidad.

Es innegable que la transformación de los ecosistemas se ha dado principalmente por las actividades humanas y por las formas de apropiación del hombre con la naturaleza (Hoffmann, 1996; SER, 2004 a). Fenómenos como la deforestación, el cambio climático, la desertificación, crecimiento desordenado de la población entre otros, ponen en riesgo a las comunidades biológicas, las cuales han evolucionado durante millones de años (Rozzi et al., 2001).

Por ello es inconcebible y de graves consecuencias, que hoy día existan selvas tropicales, bosque templados, matorrales xerófilos, cuerpos de agua, ríos etc, que se encuentran totalmente alterados en su composición, estructura y funcionamiento (Martínez, 1996). De hecho, es en los años noventa, que a pesar de los esfuerzos internacionales realizados en esa década, se pierden en promedio casi 15 millones de hectáreas de bosque por año en el mundo (FAO, 2001a y 2001b) con una tasa de cambio en el uso de suelo del 11.4 % (Balmford et al., 2002). Dentro de las consecuencias de esta deterioro forestal, se puede mencionar la pérdida de la biodiversidad y el aumento de gases de efecto invernadero (Vitousek, 1994).

Bajo este panorama, la vegetación de México también ha sufrido extensas alteraciones antrópicas y como consecuencia, muy pocas áreas del territorio nacional contienen aún ecosistemas inalterados. La huella de la deforestación, las quemadas de monte y sobrepastoreo, están a la vista de cualquier paisaje del país (Vazquez-Yañez et al., 1999).

La degradación de ecosistemas forestales en México, ha sido continua en los últimos 40 años con una tasa de deforestación que varía entre 370 mil y 1.5 millones de ha, siendo sus principales causas el cambio de uso del suelo con fines ganaderos y agropecuarios (Merino y Segura, 2002).

La comprensión de esta problemática y en especial para México que es considerado un país megadiverso (Rzedowski, 1991; Dirzo, 2001), lleva a cuestionamientos sobre modelos de desarrollo que ponga en marcha grupos de trabajo interdisciplinarios, con el fin de integrar la

conservación del ambiente natural, con el desarrollo humano (Rozzi et al., 2001). Para ello, es necesario comprender e integrar factores sociales, ecológicos y económicos (Olguin, 2001) que permitan no sólo diseñar las estrategias viables para el mantenimiento de la cobertura vegetal, si no además de aspirar a la gestión de la biodiversidad que signifique una actividad con enorme potencial para el desarrollo económico del país (Lorenzo, 2000).

Sin embargo y dado que actualmente son muchas las áreas del territorio que contiene comunidades alteradas, es necesario establecer medidas como la restauración ecológica, que permitan la recuperación de la cobertura vegetal con el subsecuente beneficio de proporcionar servicios ecosistémicos como la captura de carbono.

Bajo este contexto y dado que las zonas forestales que circundan la cuenca del Valle de México han sido sometidas a fuertes presiones derivadas de la actividad humana (Hernández y Bauer, 1989), se desarrolla el presente trabajo en la cuenca del río Magdalena, D.F., México.

La zona de estudio forma el 4% del suelo de conservación del Distrito Federal y a pesar de su importancia ecológica, económica y social, existen problemas referentes a su manejo y estatus legal que han permitido el crecimiento acelerado de la mancha urbana con una disminución y deterioro en su cobertura vegetal.

Por tal motivo, se considera indispensable, realizar estudios que permitan la planeación de estrategias dirigidas a la conservación, restauración y/o aprovechamiento sustentable, que permitan mejorar la calidad del bosque y la calidad de aire de la zona sur del Distrito Federal, además de mantener el único río vivo que le queda a la Ciudad de México.

Se espera que al establecer criterios de restauración para el bosque *Abies religiosa* de la CRM, se recupere y mantenga el servicio ecosistémico de captura de carbono aunado a otros beneficios como el control de la erosión, mantenimiento de la calidad del agua y diversidad biológica. Para ello, es necesario caracterizar al bosque por sus parámetros físicos y biológicos, los cuales van a permitir analizar el estado actual en el que se encuentra. Es necesario conocer la estructura y composición del bosque, ya que son los datos base para su aprovechamiento óptimo e indispensable para la generación de propuestas de manejo.

Por lo anterior, el objetivo general de este trabajo es estimar el carbono almacenado en el bosque de *Abies religiosa* de la cuenca del río Magdalena, con la finalidad de determinar su importancia como servicio ecosistémico y como criterio de restauración.

Como objetivos particulares se encuentran: un análisis de parámetros estructurales del bosque como densidad del arbolado, área basal y estructura tanto vertical como diamétrica; la determinación de los factores físicos que influyen en el comportamiento del bosque y la obtención del manejo actual que recibe el bosque por parte de los habitantes.

Los resultados de este proyecto aunado a la información generada en los últimos años referente a flora, vegetación, calidad forestal y ecología del paisaje, servirán de base para la elaboración conjunta en el futuro, del plan de manejo comunitario del área.

III. MARCO TEÓRICO

Restauración ecológica y servicios ecosistémicos

La restauración ecológica surge a raíz del reconocimiento de las sociedades humanas de las consecuencias del deterioro de los sistemas naturales (Castillo, 2005), y es desde finales de los ochenta que se considera una práctica de manejo cada vez más consolidada (SERI y UICN, 2004 Castillo, 2005) con importantes bases científicas (Bradshaw, 1993; Castillo, 2005). La sociedad internacional de restauración ecológica (SER), la define como “el proceso de asistir la cobertura vegetal de un ecosistema que ha sido degradado, dañado, transformado o destruido de tal manera de facilitar y acelerar su recuperación (SER, 2004 b).

Su finalidad es la reconstrucción de la estructura y función de un ecosistema (Zamora, 2002; Castillo, 2005), por lo que no basta con poblar con especies vegetales y animales una zona, sino reestablecer las poblaciones nativas y sus interacciones para permitir, hasta donde sea posible, la recuperación de los procesos ecológicos (Bonfil *et al.*, 1997). Es decir, se trata de generar sistemas, capaces tanto de proveer servicios ecosistémicos (Clewel y Rieger, 1997) como de automantenerse e integrarse en su contexto, de tal manera que puedan madurar por si solos (Zamora, 2002; Castillo, 2005, SER, 2004 b).

Para establecer las características que debe tener el ecosistema a restaurar, es necesario partir por un lado, con el diagnóstico de la situación actual del ecosistema degradado y por otro, con la definición del ecosistema hacia el que se pretende reconducirlo (Zamora, 2002; SER, 2004 a y b). Para ello, es importante toda información sobre la estructura, composición y funcionamiento del ecosistema, aunado a otro tipo de información ya sea cultural o histórica de la región (SER, 2004 b).

Sin embargo, la restauración ecológica no sólo es una forma de manejo, es a su vez un proceso social que involucra acciones dirigidas sobre los ecosistemas, una necesidad para detener los daños puntuales y sus consecuencias sobre las vidas de los pobladores y un compromiso con las generaciones futuras de tal manera de alcanzar un desarrollo sustentable. Por lo anterior, esta disciplina se considera un lugar de encuentro entre profesionales de distinta formación (Zamora, 2002), en la que se deben incluir aspectos históricos, sociales, económicos, culturales, estéticos y por supuesto ambientales (SER, 2004 a), de tal manera que tanto biólogos, sociólogos,

economistas, edafólogos, ingenieros entre otros, sean capaces de trabajar en torno a una planeación ambiental integral (Zamora, 2002).

Por otro lado, se considera un proceso a largo plazo que resulta muy costoso, el cual tiene como “beneficio universal”, proporcionar determinados valores naturales (“capital natural”), es decir: productos y servicios (Clewell y Rieger, 1997; SER, 2004 a). Por tal motivo, esta disciplina se evalúa con base en sus resultados, es decir a partir de la evaluación de los servicios ecosistémicos, que resultan del proceso mismo de restauración (Clewell y Rieger, 1997).

Los servicios ecosistémicos, considerados como todos los beneficios que se derivan de un ecosistema hacia la sociedad (Daily et al., 1997; Millenium Ecosystem Assesment, 2003), son el factor determinante en la formación y establecimiento de las sociedades humanas. Como bien dice la SER, estos servicios representan el capital natural, tanto como infraestructura, equipo y estabilidad económica representan el capital financiero (SER, 2004 a). Es por ello que su aprovechamiento ya sea de manera directa o indirecta no sólo garantiza el bienestar social, sino promueve la creación de una serie de valores al respecto (GEF-UNEP, 1999). Es claro que en ausencia de servicios ecosistémicos la vida como la conocemos dejaría de existir y por ello, el valor que presentan estos servicios a la humanidad es incuestionable (Daily et al., 1997).

De acuerdo al Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2003), los servicios ecosistémicos se clasifican según la forma en como son provistos y la forma en como se relacionan con el hombre.

El MA, considera principalmente cuatro servicios: **servicios de provisión**, productos tangibles que el hombre obtiene directamente del ecosistema como comida, agua, madera, actividades de producción y economía, **servicios de regulación**, enfocados principalmente a las interacciones entre los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas que afectan directamente tanto las actividades como el ambiente humano: regulación del clima, purificación y regulación del agua etc., **servicios culturales**, beneficios no materiales que se obtienen de los ecosistemas, como la recreación, el valor estético, el sentido de placer, el valor cultural entre otros y **servicios de soporte**, beneficios que dan soporte al sistema como el ciclo de nutrientes, formación de suelo, productividad primaria entre otros.

Estos cuatro tipos de servicios ecosistémicos aportan el “capital natural” de la sociedad, que junto con el capital social, político y económico constituyen la salud de una nación (Millennium Ecosystem Assessment, 2003).

Captura de carbono: un servicio ecosistémico de regulación

La captura de carbono se ha considerado como un servicio ecosistémico de regulación que proporcionan los bosques (MA, 2003; Bishop and Landelmills, 2002). El rector de este servicio ecosistémico es el ciclo global del carbono, el cual se define como el movimiento del CO₂ en sus distintas formas entre la superficie terrestre, su interior y la atmósfera, regulado por mecanismos de intercambio como la fotosíntesis, la respiración y la oxidación (Ciesla, 1996).

El carbono es un elemento fundamental considerado como bloque básico de construcción de toda la materia orgánica, que se combina con nitrógeno, fósforo, azufre, oxígeno e hidrógeno para constituir las moléculas más importantes para la vida (Hutchinson, 1999). En la naturaleza, el carbono se halla por doquier, en el agua bajo la forma de carbonatos y en el aire, en su unión molecular con el oxígeno, constituye el dióxido de carbono (CO₂) (Smith et al., 1993), considerado un componente importante de la atmósfera desde hace millones de años (Lovelock, 1988). Gracias a las estimaciones de la producción y destrucción de compuestos orgánicos, se provee de información sobre la salud de la biosfera tanto del presente como del pasado (Schlesinger, 1991).

Cuando se habla del flujo o dinámica de carbono, se está considerando el ciclo de la atmósfera a la tierra y a océanos, en donde se involucran una serie de elementos y procesos que dan como resultado un equilibrio atmosférico (Schlesinger, 1991).

Toda variación en la biomasa terrestre y carbono del suelo, química oceánica, temperatura y salinidad del agua de mar, fertilidad del océano, actividad volcánica y tectónica, generan cambios en el ciclo global del carbono (Arthur, 1982), considerado como un proceso histórico-biogeoquímico que ha presentado variaciones a lo largo de la evolución terrestre y el cual se encuentra organizado por elementos fijadores (plantas y animales), reservorios o sumideros (océano y ecosistemas terrestres) y fuentes emisoras (actividades humanas, procesos biológicos, vulcanismo y tectonismo).

La importancia del CO₂ en la atmósfera radica en que es un regulador de la temperatura del planeta, de manera tal, que sin su presencia la temperatura promedio actual sería aproximadamente 33°C más fría y como resultando se tendría un planeta congelado (Schlesinger, 1991).

Por lo anterior, existen mecanismos que regulan la concentración de CO₂ en la atmósfera, que actúan de manera conjunta pero en escalas diferentes de tiempo. Por un lado, se encuentra el ciclo geoquímico del Carbonato-Silicato, el cual opera en una escala de cientos de millones de años pero que ha permitido mantener la concentración del CO₂ atmosférico por debajo de 1 % durante los últimos 100 millones de años. A este ciclo se le sobrepone un ciclo biogeoquímico de corto plazo en donde dominan dos grandes transferencias anuales de carbono: el flujo de CO₂ de la atmósfera a las plantas como resultado de la fotosíntesis, y el regreso de CO₂ a la atmósfera como resultado de la descomposición de la materia orgánica (Hutchinson, 1999; Jaramillo, 2004).

El dióxido de carbono (CO₂) es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas por medio de la fotosíntesis y participa indirectamente en la formación de todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse. Al crecer, se incrementará su follaje, ramas, flores, frutos y yemas apicales así como la altura y grosor del tronco (Schimel, 1995; Smith et al., 1993).

Durante el tiempo en que el carbono se encuentre formando alguna estructura del árbol y hasta que es reemitido ya sea al suelo o a la atmósfera, se considera que es carbono almacenado (De Jong et al., 2004).

Sin embargo, algunas actividades del hombre como la deforestación y el cambio en el uso del suelo para actividades agropecuarias, no sólo disminuyen la capacidad de almacenamiento de carbono de los bosques, también aceleran su incremento en la atmósfera (FAO, 2001b) y generan otros problemas locales y regionales como el incremento de la erosión.

Estas actividades negativas aunadas a otras como los cambios en la química atmosférica por la quema de combustibles fósiles, son considerados como perturbaciones al ciclo global del carbono que se enmarcan dentro de un contexto más amplio reconocido como el “cambio climático global”, que amenaza de diversas formas el funcionamiento del planeta y que tiene como consecuencia final, el aumento de la temperatura promedio global del planeta (Jaramillo, 2004).

Debido a ello, se espera que los sistemas forestales contribuyan con la fijación de carbono, aunado a políticas adecuadas que pongan en marcha toda propuesta de mitigación de CO₂ (IPCC, 2002). Como producto de este hecho, en las últimas décadas ha surgido un interés considerable por incrementar el contenido de carbono en la vegetación terrestre mediante la

conservación forestal, la restauración, la agroforestería y otras medidas de mitigación (De Jong et al., 2004).

Estas medidas de mitigación, se definen como toda intervención antropogénica que trata de compensar el daño ambiental ocasionado por el hombre (SER, 2004 b). Para fines del cambio climático se refiere a aquellas actividades que buscan la reducción de fuentes y el mejoramiento de sumideros de gases de efecto invernadero (Maser, 1995), en particular del carbono, proporcionando al mismo tiempo beneficios ambientales y económicos a la población (IPCC, 2002).

Para el caso de bosques, las estrategias de mitigación según Maser et al. (2000) son:

- a) de conservación, que consiste en evitar las emisiones de carbono preservando las áreas naturales protegidas, manejo sostenible de bosques naturales, uso renovable de la leña y reducción de incendios.
- b) de secuestro de carbono, dedicada a recuperar áreas degradadas mediante acciones como la restauración, reforestación, protección de cuencas, reforestación urbana, desarrollo de plantaciones comerciales para madera, pulpa para papel, hule, agroforestería etc.
- c) de sustitución, de productos elaborados mediante el uso de combustibles fósiles y de cemento por productos hechos de madera.

Se ha estimado que combinando estas estrategias de mitigación, con actividades para la adaptación (proyectos y políticas), los bosques podrían resultar uno más de los sumideros de carbono durante los próximos cien años (IPCC, 2002).

IV. ANTECEDENTES

El género *Abies* en México

La distribución geográfica del género *Abies* se extiende desde Alaska hasta Centro América (Madrigal, 1967). Para el caso particular de México, se reconocen ocho especies de este género: *Abies concolor*, *A. duranguensis*, *A. guatemalensis*, *A. hickelii*, *A. mexicana*, *A. oaxacana*, *A. religiosa* y *A. vejari* (Martínez, 1963), de las cuales seis están restringidas en su distribución al territorio nacional (Hernández, 1986).

Los representantes del género *Abies*, se caracterizan por ser árboles corpulentos, siempre verdes, resinosos, de copa simétrica y aguda, con hojas lineares y persistentes. Se desarrollan en lugares montañosos y elevados (Martínez, 1963) y constituyen, en la mayor parte de los casos, comunidades en forma de manchones aislados muchas veces restringidos a un cerro, a una ladera o a una cañada (Rzedowski, 1978).

Con respecto a su distribución en México, se considera que esta es en general amplia (Hernández, 1986) encontrándose preponderantemente en el Norte y Centro de México (Martínez, 1963). Sin embargo, se encuentra regionalmente localizada de manera precisa dadas sus exigencias climáticas (Hernández, 1986).

Los bosques de *Abies* observados en México, están confinados a laderas de cerros a menudo protegidos de la acción de los vientos fuertes y de insolación intensa entre los 2400 y 3500 m snm, sin llegar al límite de la vegetación arbórea (Madrigal, 1967). Constituyen una unidad relativamente bien definida, pues requieren, para su desarrollo de condiciones de temperatura baja y sin grandes oscilaciones térmicas diurnas y humedad relativa alta o constante (Hernández, 1986).

Con respecto a su distribución en el centro de México, los bosques de *Abies* se encuentran en el Cordillera Volcánica Transmexicana (CVT), formando masas puras o bien asociadas a especies de *Pinus* (*P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. hartwegii*, *P. ayacahuite* var. *veitchii*) y algunas latifoliadas como *Alnus glabrata*, *A. firmifolia*, *Arbutus xalapensis* y *Quercus* spp. Son considerados como comunidades clímax (Rzedowski, 1977) y para el caso específico del Valle de México, dominan las partes altas de las montañas que rodean a este y su conservación es indispensable para la calidad de vida del área metropolitana de la Ciudad de México (Nieto de Pascual, 1995).

El bosque de *Abies religiosa*

De las ocho especies registradas para el género *Abies*, la especie más estudiada y la más frecuente en el centro de México, es *Abies religiosa*, en donde forma bosques relativamente extensos y puros (Hernández, 1986). Se distribuye en las zonas montañosas del Distrito Federal así como de los Estados de Hidalgo, Puebla, Veracruz, Michoacán, Jalisco, Morelos, México, Guerrero y Tlaxcala (Martínez, 1963).

Fue clasificado por primera vez en 1803 por Humboldt y Bonpland y su nombre actual fue dado por Schelectendahl y Chamizo en 1830 (Manzanilla, 1974). La denominación que recibe actualmente se debe a que las ramas eran y son empleadas como adorno en ceremonias religiosas (Manzanilla, 1974).

Se caracteriza por ser un árbol que puede alcanzar alturas de hasta 45 m y diámetros de hasta 180 cm. Las ramas son extendidas o ligeramente ascendentes y verticiladas, que se acortan gradualmente hasta formar una copa cónica. La corteza externa es de color café-rojizo o grisácea, con placas irregulares y de 1-7 mm de grosor. La corteza interna es de color rojizo y de 6-7 mm de grosor.

Presenta ramas colgantes, opuestas en cruz y de color que varía del castaño oscuro al moreno violáceo. Las hojas son alternas y dispuestas en espiral, lineares, derechas o algo falcadas, subdísticas, torcidas en la base, de 20 a 30 mm de largo por 1.5 mm de ancho. El ápice es agudo y córneo, de color verde oscuro en el haz y glaucas en el envés.

Es una especie monoica que concentra en la parte superior de la copa, las inflorescencias femeninas cuyo desarrollo es muy rápido. Las inflorescencias masculinas las presenta en las ramillas laterales, oblongas y romas de color violáceo, al principio protegidas por mucha resina.

Presenta conos solitarios, erguidos, cilíndrico-oblongos, romos, resinosos, casi sésiles o con pedúnculos de 5 a 9 mm. El color varía con la edad de violáceo a moreno violáceo y miden de 10 a 16 cm de largo por 4 a 6 cm de ancho.

La semilla es cuneado-oblonga, ovoide u oblonga, aguda en la base, comprimida resinosa de 9-10 mm por 5 mm de ancho, de color castaño brillante. La edad a la que florece y fructifica oscila entre los 23 y 27 años.

Las grandes áreas boscosas de *Abies religiosa*, se encuentran principalmente en laderas sombreadas y húmedas con pendientes más o menos fuertes, así como en barrancas y hondonadas con alta humedad en el suelo y el aire (Manzanilla, 1974).

Aun en las mismas zonas de distribución típicas no siempre se encuentran rodales puros de *Abies religiosa*, principalmente en los lugares próximos a los límites altitudinales superior e inferior donde se mezclan con otras especies (Hernández, 1986). De esta manera y en específico para el sur del Distrito Federal, los rodales de *Abies religiosa* se pueden ver mezclados principalmente con *Pinus montezumae* en el límite altitudinal inferior, *Pinus pseudostrobus*, *P. rudis* y *Cupressus lindleyi* en la parte altitudinal media en tanto que para el límite altitudinal superior se asocia principalmente con *Pinus hartwegii*. Sin embargo, también ocurren *Quercus* spp., *Alnus firmifolia*, *Pseudotsuga* spp., *Salix* sp, *Arctostaphylos* spp., y *Arbutus* spp (Gomez, 2003).

El bosque de *Abies religiosa* está constituido principalmente por 4 o 5 estratos (Madrigal,1967). El estrato I o rasante (de 0.01-0.29 m de altura), se encuentra representado por la abundancia de musgos, compuestas, solanáceas y algunos macromicetos. El estrato II o herbáceo (de .30 a .90 m de altura) comprende cerca del 80 % de las especies identificadas y el estrato III o arbustivo (de 0.91 a 1.5 m de altura) tiende a presentar una distribución irregular ya que en algunos sitios presenta altas coberturas mientras que en otros muy bajas (Nieto de Pascual, 1995).

El estrato IV o arbóreo inferior (de 3 a 15 m de altura) es escaso, con ejemplares de oyamel de fustes delgados, en tanto que el estrato V o arbóreo superior (de 16 a 35 m de altura) presenta coberturas mayores que los del estrato inferior. Esta estructura que presenta el bosque, dispuesto en cinco estratos, corresponde a una comunidad con un estado de desarrollo pleno, característico del Valle de México Nieto de Pascual (1995).

En los bosques de *Abies religiosa*, la composición florística se presenta en forma regular en la mayoría de las especies, aunque en algunas se observa cierta tendencia a la agrupación (Gómez, 2003). Algunas ocupan sitios abiertos donde la iluminación es mayor, o donde ha habido disturbio en la vegetación por pequeño que sea, como el caso de *Alchemilla procumbens*, *Acaena elongata* y *Salvia elegans* (Madrigal, 1967). Sin embargo de las especies registradas para el bosque de *Abies religiosa*, se tiene que sólo una, *Senecio angulifolius*, presenta constancia del 100% (Madrigal 1967).

Abies religiosa, es muy importante desde el punto de vista económico (Manzanilla, 1974), dada su utilidad en la fabricación de pulpa para papel, cajas, canastas y empaques para alimentos. De manera tradicional la madera de esta especie fue utilizada por los campesinos para la fabricación de carbón, aunque en ocasiones es empleada como leña combustible y más a menudo para hacer morillos y construcción de casas. Las puntas, ramas o arbolillos tienen demanda como árboles de Navidad, y en la actualidad su cultivo y explotación con este propósito se presenta en la cuenca de México y en otras partes fuera de ella (Hernández, 1986).

Según la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, el *Abies religiosa*, no es considerado una especie en peligro debido a su abundancia que lo hace menos vulnerable a su extinción. Sin embargo, existen casos como el bosque de *Abies religiosa* en el Parque Desierto de los Leones, que a finales de 1970, comenzó a mostrar síntomas de declinación jamás vistos en bosques Mexicanos (Alvarado, 2002., Saavedra et al., 2003).

El bosque de *Abies religiosa* en la cuenca del río Magdalena

En el Distrito Federal, el *Abies religiosa* se localiza sobre la cadena montañosa al suroeste, siendo sus bosques más densos los de la Sierra del Ajusco, Desierto de los Leones y Sierra de las Cruces. Sin embargo, los estudios realizados, indican que la comunidad de *Abies religiosa* de la CRM además de presentar una diversidad florística propia del oyamental, con predominio de compuestas, tiende a presentar un aspecto más saludable que en otras zonas de distribución dentro del Valle de México (Nieto de Pascual, 1986).

En la cuenca del río Magdalena, el bosque de *Abies religiosa*, se localiza entre los 2750 y los 3500 m snm. Actualmente se caracteriza por ser un bosque denso con coberturas que alcanzan hasta el 100 % de vegetación y es la comunidad más diversa de la zona de estudio registrando un total de 40 familias, 81 géneros y 116 especies de las cuales 27 son indicadoras de deterioro (Nava, 2003).

Dentro de las especies presentes en el bosque se encuentran: *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis*, *Pinus pseudostrobus*, *Salix paradoxa*, *Ageratina mairretiana*, *Stellaria cuspidata*, *Prunella vulgaris*, *Valeriana clematitidis*, *Cerastium nutas*, *Helenium scorzonerifolium* entre otras. Sin embargo y de acuerdo al estudio fitosociológico de Nava (2003), se sabe que el *Abies religiosa*, se asocia principalmente a *Senecio angulifolius*, *Acaena elongata*, y *Senecio*

cinerarioides, con las que forma las tres asociaciones vegetales que caracterizan a la comunidad de *A. religiosa* de la CRM. Dichas asociaciones se establecieron de acuerdo al porcentaje de cobertura que se registró en la tabla fitosociológica para cada especie dentro de la comunidad, corroborado por medio de un análisis de clasificación numérica (cluster).

El bosque de *Abies religiosa* de la CRM, puede desarrollarse sobre pendientes de 65° aunque en algunos casos se encuentra en zonas casi planas de 2° de inclinación. Cubre una superficie de 1433 ha, que es casi el 50 % de la superficie de la cuenca (Nava, 2003).

Ávila-Akerberg (2004) define mediante fotointerpretación dos estados del bosque: conservado (1373 ha) y perturbado (60 ha) y registra niveles de autenticidad forestal en donde revela que la mayor autenticidad dentro de la CRM, la presenta el bosque de *Abies religiosa* con excepción de algunos sitios que registraron baja autenticidad y que corresponden con las áreas quemadas en 1998.

Por otro lado, Jujnovsky (2003), en su estudio de Unidades de Paisaje en la CRM, secciona al bosque de *Abies religiosa* en un total de 12 unidades de paisaje, de las cuales sólo una, la unidad U9B, es considerada como alterada.

De manera general y con base en lo anterior, la información previa referente al bosque de *Abies religiosa*, refleja en su mayoría que esta comunidad está bien conservada.

V. ÁREA DE ESTUDIO

Características generales

La cuenca del río Magdalena (CRM), se localiza en el límite sur–occidental del Distrito Federal dentro de la cuenca de México. Forma parte de la vertiente occidental de la sierra de las Cruces, que a su vez pertenece a la CVT. Su coordenadas geográficas son: 19° 13' 53'' y 19° 18' 12'' N y 99° 14' 50'' y 99° 20' 30'' O (Ontiveros, 1980).

Dentro del Distrito Federal, abarca parte de las delegaciones políticas Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa con una extensión total de 2,925 hectáreas (Ávila-Akerberg, 2002) (Figura 1).

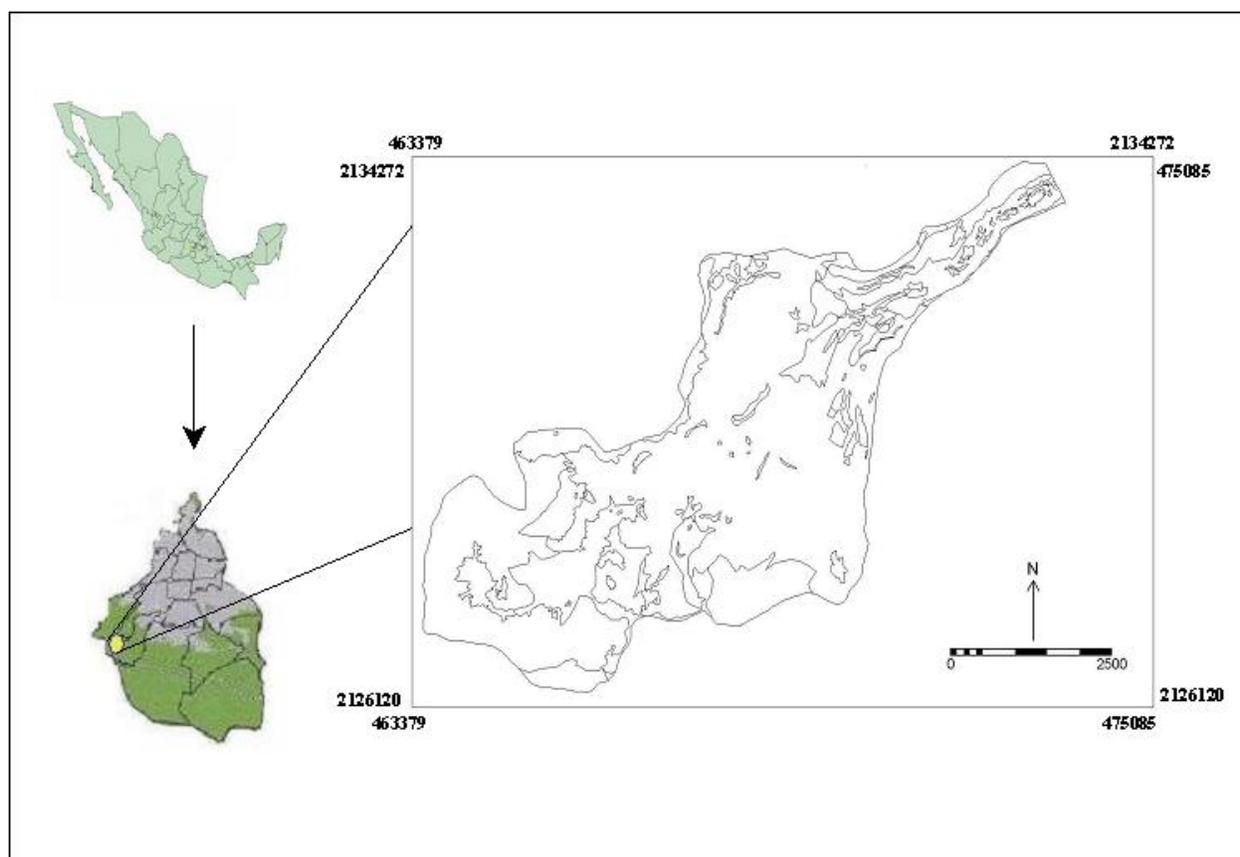


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Magdalena, D.F. México.

Recibe su nombre del único río vivo que le queda a la ciudad de México (Mazari et al., 2000). Sin embargo, se le ha denominado de diversas formas como “Cañada de Contreras”, “Zona Protectora Forestal Cañada de Contreras” o “Dinamos”. Este último es el más común y

deriva de las plantas hidroeléctricas o dínamos que se instalaron desde 1897, con la finalidad de aprovechar la potencia y caudal de las caídas de agua del río (Ontiveros, 1980).

La importancia del área radica en que contribuye de manera importante en brindar servicios ecosistémicos tanto de provisión (sustento económico de familias mediante el aprovechamiento de sus recursos no maderables) como de regulación (captura de carbono, retención de suelos y mantenimiento de biodiversidad) de acuerdo a la clasificación del Millennium Ecosystem Assesment (2003).

Relieve: Por su ubicación, se desarrolla en un relieve montañoso el cual presenta un intervalo altitudinal que va de los 2500 m snm en el noreste (límite del suelo de conservación con el área urbana) a los 3810 m snm al suroeste (altitud máxima registrada para el cerro el Muñeco) (Álvarez, 2000).

Las menores altitudes del área se encuentran al este del trayecto que se conoce como “camino a los Dinamos” y al noreste de las cañadas Atzoma, Canoitas y Tlalpuente, con pendientes inclinadas que llegan a formar un desnivel de 400 m (Álvarez, 2000).

El modelado del relieve montañoso se debe principalmente a la acción erosiva hídrica y al resto de los procesos fisicoquímicos, siendo el desgaste de la corriente del río Magdalena el proceso que ha ido formando un valle intermontano longitudinal joven (Álvarez, 2000).

Geología: El área de estudio está relacionada directamente con el origen de la cuenca del Valle de México (Ontiveros, 1980). Su basamento está constituido por macizos de la sierra de las Cruces del Terciario Superior (Álvarez, 2000) y su formación está dada por material ígneo extrusivo, producto de manifestaciones volcánicas del Terciario y Cuaternario en la que predominan las Andesitas y Dacitas (INEGI, 1979, Álvarez, 2000).

La Cañada de Contreras es el resultado de un afallamiento en bloques que deja blancos abruptos de forma regular en donde el río se encajona en márgenes estrechos. Presenta diversas fracturas localizadas al oeste y en su mayoría tienen un rumbo al oriente. Otras fracturas han sido ocupadas por corrientes tales como arroyos Las Regaderas, El Agua escondida y El Potrero. La morfología actual del área, se debe principalmente a las condiciones climáticas que imperaban durante el Cuaternario (Álvarez, 2000).

Hidrología: Son varios los factores que determinan el comportamiento hidrológico del área, siendo la altitud el principal factor (Ontiveros, 1980). Uno de los ríos perennes que destacan dentro de la cuenca del río Magdalena, es precisamente el que recibe su nombre, “El Magdalena” que nace cerca de Puerta del Pedregal a los 3640 m de altitud y recorre la cañada de Cieneguillas. El cauce del río tiene aproximadamente una longitud total de 21,600 m., de los cuales 13, 000 m recorren los bosques de la cuenca. Tiene un escurrimiento perenne debido a los manantiales que lo surten como “Los Pericos”, “Las Ventanas” y “San Miguel” (Álvarez, 2000).

Suelos: Los suelos de la CRM son principalmente Andosoles húmicos (INEGI 1:50000, 1999). Estos son suelos jóvenes, resultado de las últimas manifestaciones volcánicas del Cuaternario (Ontiveros, 1980). Se derivan a partir de cenizas volcánicas de actividad reciente y a pesar de ser susceptibles a la erosión, se caracterizan por retener mucho fósforo (Álvarez, 2000).

Los subtipos de Andosol encontrados en la cuenca son: húmico, ócrico y mólico y mezclas con litosoles (Álvarez, 2000). La textura es de tipo franco, migajón arcilloso y migajón arenoso. En la porción suroeste la textura es de migajón limoso mientras que en la noreste es de migajón arenoso. Es característico de estos suelos, el pH ácido (Jujnovsky, 2003).

Clima: Se reconocen dos tipos de clima según la clasificación de Köppen modificado por García (1988). Para la parte baja de la cuenca, entre los 2400 y 2800 m snm, se presenta el subtipo climático C (w₂) (w) (b) i' g; templado subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos con régimen de lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal menor al 5%. Verano fresco y largo, temperatura media anual entre 12 y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente entre 6.5 y 22°C, poca oscilación térmica y marcha de la temperatura tipo Ganges.

La parte alta, de los 2800 a los 3500 m snm el clima es Cb' (w₂) (w) (b') i g, difiriendo del anterior por tener una temperatura media anual entre 5 y 12 ° C con oscilación térmica menor a 5°C, es decir, isotermal (García, 1988).

No existen para la zona estaciones meteorológicas, por lo que se toma como referencia la estación “Presa Anzaldo” la cual se encuentra cercana a la zona (Fig. 2).

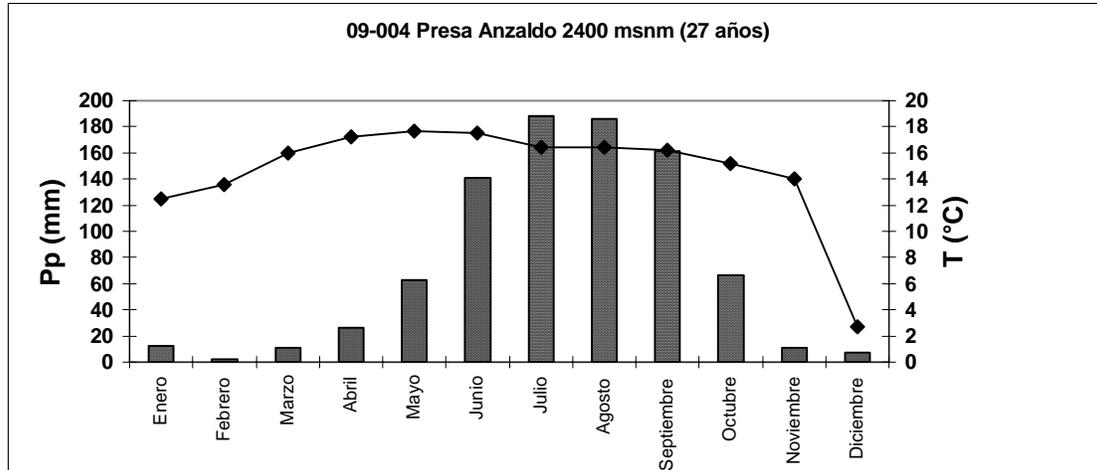


Figura 2.- Gráfica de precipitación y temperatura para la estación Presa Anzaldo (Datos tomados de García, 1988).

Vegetación: El área de estudio está comprendida en la Provincia Florística de las Serranías Meridionales dentro de la Región Mesoamericana de Montaña, en donde se presentan elementos holárticos y neotropicales formando un complejo mosaico de vegetación (Rzedowski, 1978).

Los tipos de vegetación presentes de acuerdo a la denominación de Rzedowski (1978) son: Bosque de *Pinus hartwegii*, *Abies religiosa*, Bosque de *Quercus* y Bosque mesófilo de montaña. Sin embargo y de acuerdo a la información fitosociológica reciente (Tabla 1), se distinguen principalmente tres comunidades con 8 asociaciones vegetales (Nava, 2003).

Tabla 1. Comunidades y asociaciones de la cuenca del río Magdalena, D.F. (Nava, 2003).

Comunidad vegetal	Asociación vegetal
<i>Bosque de Pinus hartwegii</i> (3420-3800 m snm)	<i>Muhlenbergia quadridentata-Pinus hartwegii</i>
	<i>Festuca toluensis-Pinus hartwegii</i>
<i>Bosque de Abies religiosa</i> (2750-3500 m snm)	<i>Acaena elongata-Abies religiosa</i>
	<i>Senecio angulifolius-Abies religiosa</i>
	<i>Abies religiosa-Senecio cinerarioides</i>
Bosque mixto (2620-3370 m snm)	<i>Abies religiosa-Quercus laurina</i>
	<i>Quercus laurina-Quercus rugosa</i>
	<i>Pinus patula-Cupressus lusitanica</i>

Debido a las condiciones climáticas de la región, se puede observar un solapamiento de especies para la parte baja de la cuenca. El bosque mesófilo de montaña y el bosque de *Quercus*, descritos por Rzedowski (1978) para la zona de estudio, corresponden con la asociación de *Pinus patula* – *Cupressus lusitanica* – *Alnus jorullensis ssp. jorullensis* y la asociación de *Quercus laurina* – *Quercus rugosa* respectivamente. Sin embargo y debido a las condiciones de fragmentación causada por la presión humana, actualmente sólo se habla de la existencia de elementos de bosque Mesófilo de Montaña (Nava, 2003).

Influencia humana y aspectos socioeconómicos: La zona de influencia humana se encuentra al noreste de la CRM, en la parte más baja de la cuenca. La delegación Magdalena Contreras elevó su población de 21, 955 habitantes en 1950 a 221, 762 en 2000 (Garza, 2000). La Delegación presenta una superficie total de 6,389 ha de las cuales 3,434 constituyen la zona de conservación ecológica y el resto presenta usos urbanos y rurales.

El régimen de tenencia de la tierra es de tipo comunal y ejidal (IMEP, 1995: en Fernández – Galicia, 1997). Debido a ello y a pesar de estar regularizada por la comisión de Regulación de Tenencia de la Tierra (CORETT), existen en la Magdalena Contreras varios litigios entre ejidatarios, comuneros y propietarios privados. Como consecuencia, surgen periódicamente problemas de invasiones o ventas ilegales por parte de los ejidatarios (Garza, 2000).

En cuanto a las actividades económicas referentes al sector primario, se tienen la agricultura la cual no está muy desarrollada, la ganadería que es extensiva y depende de las áreas forestales ya que la vegetación herbácea del bosque es la única fuente de alimento para los rebaños (Obieta y Sarukhán, 1981). Esta es una actividad que ha causado graves problemas a la silvicultura ya que se realiza de manera desordenada.

La zona de estudio corresponde a la declaratoria de Zona Protectora Forestal los Bosques de la Cañada de Contreras, D.F. El acuerdo fue publicado el 27 de junio de 1932 con una superficie de 3,100 ha, correspondientes a terrenos forestales de la Hacienda de la Cañada y del Pueblo de la Magdalena.

VI. MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos del trabajo se dividió la metodología en tres grandes etapas. La primera consistió en la caracterización del bosque de *Abies religiosa*, información que se relacionó con la segunda etapa enfocada a la obtención de información sobre manejo del bosque. La integración de las dos primeras etapas del trabajo, dio como resultado una tercera dirigida al establecimiento de criterios de restauración del bosque de *Abies religiosa*, aunado a la valoración del almacén de carbono como un servicio ecosistémico dentro de la CRM.

Se parte de un diagnóstico sobre: vegetación (Ávila-Akerberg, 2002; Nava, 2003), autenticidad forestal (Ávila Akerberg, 2004) y unidades de paisaje (Jujnovsky, 2003) para la CRM. De esta información, se seleccionó la relacionada con el bosque de *Abies religiosa* por ser la comunidad más ampliamente distribuida y constituir un elemento fisonómico relevante dentro del área de estudio.

Caracterización del bosque de *Abies religiosa*

Se realizó a partir del análisis de parámetros estructurales (densidad, área basal, estructura vertical y diamétrica), de condiciones ambientales (altitud, pendiente, orientación) y de la estimación del contenido de carbono.

Los sitios de muestreo se escogieron a partir de un muestreo aleatorio estratificado que consideró las comunidades vegetales de *Pinus hartwegii*, *Abies religiosa*, Bosque de *Quercus*, Bosque mixto y Bosque mesófilo de montaña (Ávila-Akerberg, 2002). De estos, se escogieron aquellos levantamientos correspondientes al bosque de *Abies religiosa*, dando un total de 28 levantamientos (1.75 ha) para 1433 ha que presenta dicha comunidad.

El trabajo de campo consistió en la elaboración de levantamientos fitosociológicos a partir de cuadros de muestreo de 625 m², en donde se registró la información general siguiente:

1. Coordenadas geográficas
2. Altitud (con GPS y altímetro)
3. Pendiente
4. Orientación

5. Registro de actividades dentro del bosque (pastoreo, tala, chaponeo, tinas ciegas etc...).

Información biológica:

1. Composición florística
2. Estimación visual del porcentaje de cobertura por estratos (arbóreo, herbáceo, arbustivo) y por especies.
3. Número de individuos arbóreos por sitio.
4. La altura total del árbol (m), se calculó mediante la ecuación alométrica de Franco (com.pers.), en donde:
$$h = -0.0027 DN^2 + 0.5968 DN + 0.5027$$

h = altura (m)
DN = diámetro normalizado (m)
5. Diámetro normalizado (DN) a 1.30 m de altura. Sólo se midieron aquellos individuos con DN mayor a 5 cm.
6. Regeneración en el sitio. Se consideran como regeneración aquellos individuos con DN menor a 5 cm. Se establecieron categorías de alta (+ de 15 individuos), media (de 6-15 individuos) o baja (0-5 individuos) regeneración.

Se clasificó al bosque de *Abies religiosa*, de acuerdo a la cobertura y con base en los siguientes criterios: 0–30 % (bosque abierto), 30–60 % (bosque semiabierto), 60–100 % (bosque cerrado). Esta clasificación se realizó mediante fotointerpretación de 14 fotografías aéreas escala 1:20 000, del Instituto de Geografía, UNAM (2001).

Parámetros estructurales

Densidad y número de individuos arbóreos: Se obtuvo el conteo directo del total de individuos arbóreos muestreados. Con base en este dato y la superficie total del área muestreada, se extrapoló a una hectárea, con el fin de obtener el número de individuos por hectárea. Así también, se obtuvo la densidad de individuos (in/ha) de cada una de las asociaciones vegetales.

Área basal: También llamada área basimétrica, es la superficie de la sección transversal del tallo o tronco de un árbol a una determinada altura del suelo (1.3 m), conocida como diámetro normalizado (Grijpma, 1990). Es una medida del espacio horizontal ocupado e indica la cobertura, dominancia o abundancia de una especie (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$AB = \frac{\pi DN^2}{4} = \pi r^2 \quad \text{donde:}$$

AB = área basal (m²)

DN = Diámetro normalizado (m)

Estructura vertical y diamétrica: Para el análisis estructural, se tomaron en cuenta las asociaciones vegetales que Nava (2003) registró para el bosque de *Abies religiosa* con base en el % de cobertura: *Abies religiosa* – *Senecio angulifolius*; *Abies religiosa* – *Acaena elongata*; *Abies religiosa* – *Senecio cinerarioides*.

De los 28 levantamientos que se registraron para el bosque, 20 corresponden a la asociación de *Senecio angulifolius* por ser la de mayor distribución, y cuatro para cada una de las otras dos asociaciones, las cuales se distribuyen de forma aislada.

Se realizó un primer análisis estructural general para todo el bosque y posteriormente por cada asociación vegetal, para lo cual se agrupó a los individuos de acuerdo a diez clases diamétricas y cuatro clases altimétricas. (Tabla 2 a y b).

Tabla 2. Clases de diámetro (a) y altura (b) en el bosque de *Abies religiosa* de la CRM

a)	clases	DN (cm)	b)	clases	Alturas (m)
	I	5-10		I	1-10
	II	11-20		II	11-20
	III	21-30		III	21-30
	IV	30-40		IV	>30
	V	41-50			
	VI	51-60			
	VII	61-70			
	VIII	71-80			
	IX	81-90			
	X	>91			

Análisis de las condiciones ambientales del bosque

Se reunió la información obtenida en campo referente a las variables ambientales como: orientación, pendiente y altitud, las cuales se relacionaron con la densidad del arbolado y la vegetación (Tabla 3). Se realizó un análisis de correlación Pearson en el programa estadístico SPSS 12.0 versión para WINDOWS.

Tabla 3. Variables utilizadas para la caracterización del bosque de *Abies religiosa*.

1) Altitud	5) Área basal
2) Pendiente	7) No. de individuos medidos
3) Orientación	8) No. de tocones
4) % de cobertura vegetal	9) No. de individuos muertos en pie

Estimación del contenido de carbono

Los ecosistemas forestales participan activamente en la asimilación del carbono atmosférico almacenándolo en los componentes de la vegetación así como en el suelo. Por consiguiente, el contenido de carbono almacenado en un bosque está determinado por la cantidad de biomasa que posee dicho ecosistema. Cualquier cambio en la estructura del bosque, en su composición, densidad, sucesión natural y densidad principalmente, afectarán de manera directa la cantidad de biomasa presente y por ende, el contenido de carbono (Peña, 2003).

Con respecto al carbono almacenado en el estrato arbóreo, es necesario obtener la biomasa a partir del volumen en m³ y la densidad de la madera específica de la especie. La biomasa se define como la masa total de organismos vivos en una zona (IPCC, 2001), siendo uno de los principales almacenes de ésta, la parte aérea del estrato arbóreo (Espinosa, 2005).

Para estimar la biomasa arbórea, existen métodos directos e indirectos. El directo consiste en muestreos destructivos que implican la corta del árbol y con ello, obtener directamente la

biomasa. Por el contrario, el método indirecto implica el uso de ecuaciones y modelos matemáticos calculados en inventarios forestales (Brown, 1997).

Una forma de obtener la biomasa es calculándola a partir del volumen en m^3 . El volumen de los árboles en pie se calcula con base en su altura y su área basal. La multiplicación entre estas variables da el volumen de un cilindro. Por razón de la forma cónica del árbol, el volumen del cilindro debe ser corregido por un factor F de corrección (Grijpma, 1990), también llamado coeficiente mórfico o de forma. Este valor es específico para cada especie y se calcula a partir de árboles talados (Grijpma, 1990). Ramírez Fuentes (1988), en un análisis dasométrico para la especie estudiada, determina un coeficiente mórfico para *Abies religiosa* de .5860.

La biomasa del fuste se obtiene con base en la densidad específica de la especie. Goche-Téllez (1999) realizó un trabajo sobre las variaciones de la madera en *Abies religiosa*, determinando una densidad para ésta de: 0.36 g/cm^3 . Sin embargo, y dado que es necesario incorporar a la biomasa del fuste, la biomasa de raíces, follaje y ramas, es necesario considerar una constante llamada factor de expansión de fustes. Existen algunos factores como el 1.33 establecido por el IPCC. En el presente trabajo, se utiliza el que reporta Cairns et al. (1997), en donde se determina un factor de expansión de raíces para coníferas de 0.26 y un factor de expansión de hojas y ramas de 0.18, que da un total de 0.44.

Para obtener el contenido de carbono se utiliza una constante de .45. Ésto considerando que la concentración de carbono en la biomasa seca oscila entre 45 a 50 % de carbono (IPCC, 1994). Con base en lo anterior, el producto de la biomasa por el factor de concentración de carbono (.45) resulta en la cantidad de carbono almacenado en un árbol. La suma del carbono almacenado en todos los árboles, es extrapolado a una hectárea, dando tC/ha. El carbono total del bosque se obtiene utilizando el valor por hectárea y multiplicado por la superficie total del bosque de *Abies religiosa*.

Los pasos y las fórmulas para estimar del contenido de carbono, utilizados en este trabajo, se enumeran a continuación:

1) Cálculo del área basal:

$$AB = \frac{\pi DN^2}{4} = \pi r^2 \quad \text{donde:}$$

AB = área basal (m²)

DN = Diámetro normalizado (m)

2) Cálculo del volumen:

$$V = AB (h) (\text{coeficiente mórfico}) \quad \text{donde:}$$

h = altura total (m)

Coeficiente mórfico: 0.5860 (Ramírez, 1988)

AB = área basal (m²)

3) Cálculo de la biomasa del fuste:

$$B = (V) (d) \quad \text{donde:}$$

B = biomasa (t)

V = volumen (m³)

d = densidad de la madera 0.36 gr/cm³ (Goche, 1999).

4) Cálculo de la biomasa total:

$$Bt = B * \text{Factor de expansión de fustes} \quad \text{donde:}$$

Bt = biomasa total

Factor de expansión = 1.44.

5) Cálculo del contenido de carbono:

$$CC = (Bt)(0.45) \quad \text{donde:}$$

CC = contenido de carbono

Bt = biomasa total

0.45 = concentración de carbono en la biomasa seca

6) tC/ha:

Σ del carbono almacenado por individuo / 1.75 ha (superficie de muestreo).

7) tC en el bosque de *Abies religiosa*

tC/ha x 1433 ha de bosque de *Abies religiosa*

Se obtuvo el carbono almacenado por hectárea con base en la mediana de los datos. De esta manera, se evita la sobrestimación del almacén/ha, que se genera partir de la media aritmética.

Por sitio de muestreo, se establecieron categorías de contenido de carbono alto, medio y bajo, con la finalidad de asignar por sitio de muestreo un valor de contenido de carbono que pudiera relacionarse con las unidades de paisaje de Jujnovsky (2003).

Obtención de información del manejo del bosque

La mayor parte de la información del manejo del bosque, se obtuvo mediante un ejercicio de juicio de expertos. Se elaboraron 2 entrevistas dirigidas con la finalidad de obtener información sobre el manejo y uso del arbolado con la CRM. La primera realizada a la Biól. Zenia Saavedra por tener conocimiento y experiencia en temas relacionados a la CRM y por trabajar en la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo (CORENADER). La segunda entrevista se realizó al M. en C. Víctor Ávila Akerberg, por realizar estudios de licenciatura y maestría en la zona de estudio, además de ser habitante de la delegación Magdalena Contreras. Así también, parte de la información del manejo del bosque, se obtuvo mediante la comunicación personal de los habitantes del área.

Identificación de opciones de restauración

Las propuestas de restauración se establecieron a partir de la caracterización del bosque y la información obtenida de las entrevistas realizadas. Dichas propuestas se dieron con base en dos aproximaciones. La primera considerando las necesidades básicas por asociación vegetal, y la segunda por las unidades de paisaje (Jujnovsky, 2003) del bosque de *Abies religiosa*. Para ello, se elaboró una matriz en donde se asignó cada una de las características de vegetación, pendiente, orientación, cobertura vegetal, grado de autenticidad, valor de contenido de carbono, número de individuos registrados y datos generales del sitio.

VII. RESULTADOS

Parámetros estructurales del bosque de *Abies religiosa* de la CRM

Densidad arbórea

Se registró un total de 616 individuos de *Abies religiosa*, con una densidad arbórea de 352 in/ha, para el bosque de *Abies religiosa*.

Cabe destacar, que por sitio de muestreo, se aprecian diferencias con respecto al número de individuos muestreados. Los sitios con el mayor número de individuos son el 6, 11, 12 y 14 con 44, 60, 73 y 82 individuos muestreados respectivamente (Fig. 3), todos ellos pertenecientes a la asociación de *Senecio angulifolius-Abies religiosa*. Por el contrario, los sitios con el menor número de individuos muestreados y que corresponden a la asociación de *Abies religiosa-Senecio cinerarioides*, son el 25, 26, 27 y 28 con 5, 0, 2 y 2 individuos respectivamente.

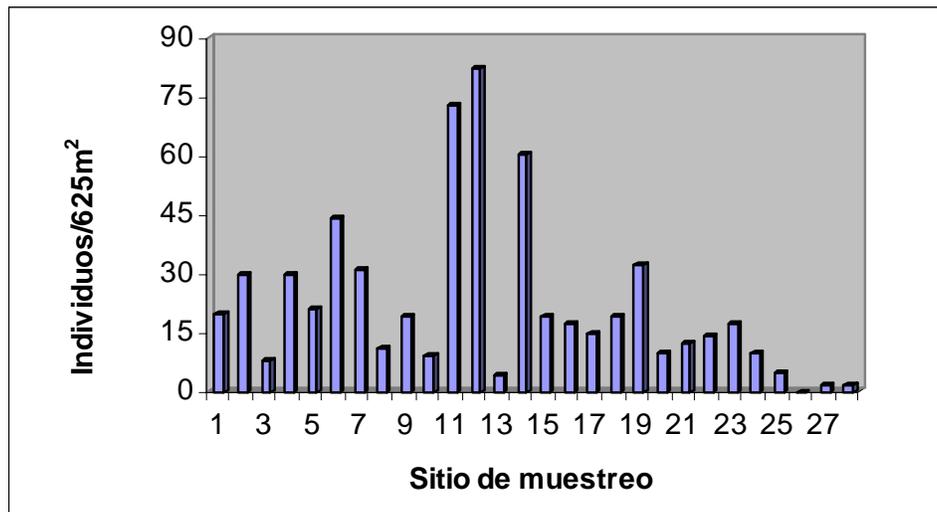


Fig 3. No. de individuos muestreados por sitio de muestreo (625 m²)

La densidad de individuos por asociación vegetal es variada siendo la asociación de *Senecio angulifolius-Abies religiosa* la que presenta la mayor densidad arbórea (Tabla 4).

Tabla 4. Densidad de individuos por asociación vegetal para la CRM.

Asociación vegetal	Individuos muestreados	Densidad in/ha
<i>Senecio angulifolius-Abies religiosa</i>	554	443
<i>Acaena elongata-Abies religiosa</i>	53	212
<i>Abies religiosa-Senecio cinerarioides</i>	9	36

Área basal

El área basal total registrada para el área muestreada (1.75 ha) del bosque de *Abies religiosa* es de 50.80 m², que extrapolado a una hectárea da 29 m² /ha. El sitio de muestreo que registró el valor más alto fue el 5, presente en la asociación de *Senecio angulifolius* y el cual contribuye con 6.5 m²/0.0625 ha. Por lo contrario, el sitio 26 presente en la asociación de *Senecio cinerarioides*, tuvo un área basal de 0 m²/0.0625 ha (Anexo 1).

Mediante la suma de los datos (Tabla 5), se puede apreciar que la asociación de *Senecio angulifolius* presentó el valor más alto de área basal (40.2 m²/1.25 ha), seguido por la asociación de *Acaena elongata* (9.6 m²/0.25 ha) y finalmente la asociación de *Senecio cinerarioides* (.86 m²/0.25 ha).

Tabla 5. Área basal m² calculada por asociación vegetal en la CRM.

Asociación vegetal	Área basal m ²	Área basal m ² /ha
<i>Senecio angulifolius</i>	40.28 m ² /1.25	32.23
<i>Acaena elongata</i>	9.6 m ² /0.25 ha	38.66
<i>Senecio cinerarioides</i>	0.86 m ² /0.25 ha	3.43

Sin embargo, estos datos extrapolados a una hectárea, reflejan que la asociación que contribuye más con el área basal de todo el bosque de *Abies religiosa* es la de *Acaena elongata-Abies religiosa*, seguida de *Senecio angulifolius-Abies religiosa* y finalmente *Senecio cinerarioides-Abies religiosa* (Fig. 4).

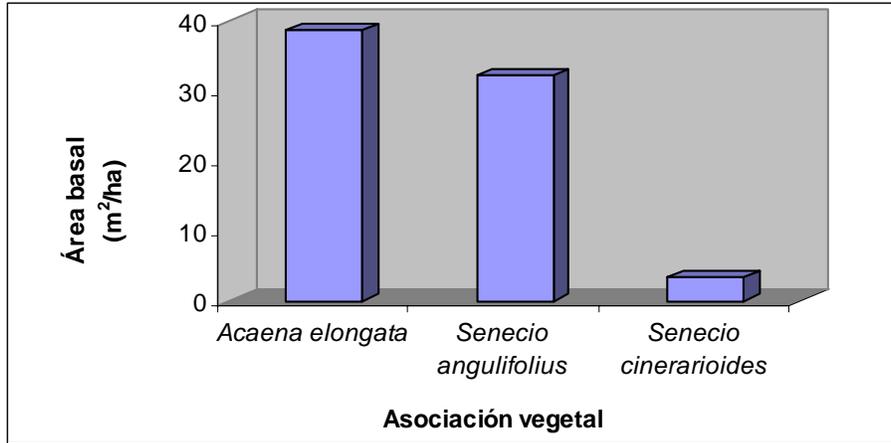


Fig 4. Área basal m²/ha por asociación vegetal en la CRM.

Estructura diamétrica

Para el bosque de *Abies religiosa*, se registró que el mayor número de individuos se distribuye dentro de las dos primeras categorías diamétricas, siendo la categoría I (5-10 cm), la que presentó un total de 125 in/ha, seguida de la categoría II (11-20 cm) con 95 in/ha. (Figura 5).

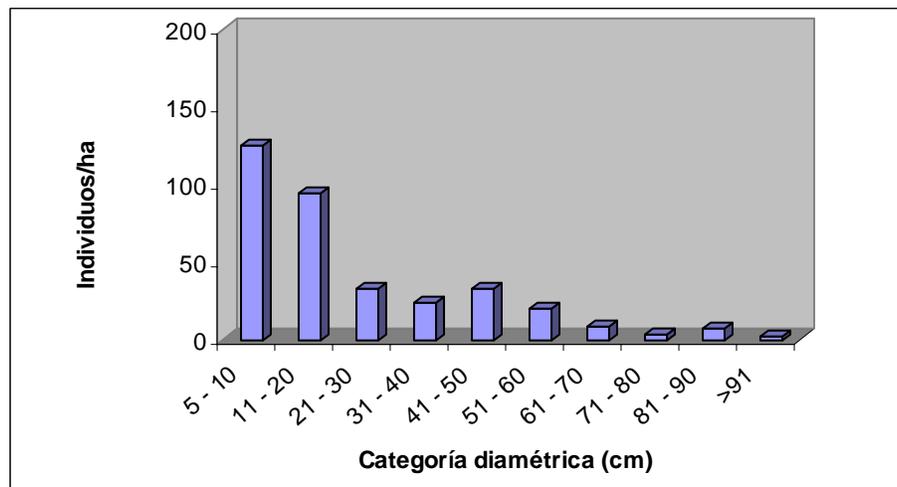


Figura 5. Distribución diamétrica del bosque de *Abies religiosa* de la CRM.

Sin embargo, se aprecian diferencias en la distribución diamétrica entre las asociaciones vegetales.

Para la asociación de *Senecio angulifolius-Abies religiosa*, se aprecian diámetros que oscilan entre 5 cm y 130 cm. Sin embargo, en el análisis horizontal se tienen representadas todas las categorías diamétricas con una inclinación hacia las dos primeras. En la categoría I (5-10 cm) se reportan 164 in/ha, en tanto que la categoría II (11-20 cm) presentó 126 in/ha. A pesar de que en su mayoría son árboles de diámetros pequeños, se tiene registro de árboles de diámetros grandes de más de 130 cm de diámetro (Figura 6).

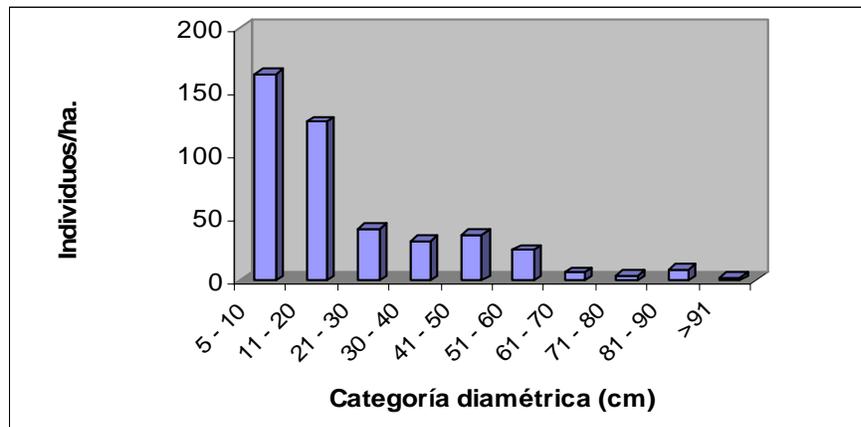


Figura 6. Distribución diamétrica de la asociación de *Senecio angulifolius-Abies religiosa* de la CRM.

Para la asociación de *Acaena elongata – Abies religiosa* se tienen representadas todas las categorías diamétricas, sin embargo, se aprecian diámetros que varían desde 5 cm hasta 168 cm. El mayor número de individuos (40 in/ha), se localiza en la categoría I (5-10 cm), seguida de la VII (41-50 cm) con 36 in/ha. En esta asociación se tienen mejor representadas las categorías IX (61-10), X (71-80), XI (81-90), XII (>90) cuyos diámetros son mayores a los 60 cm (Fig. 7).

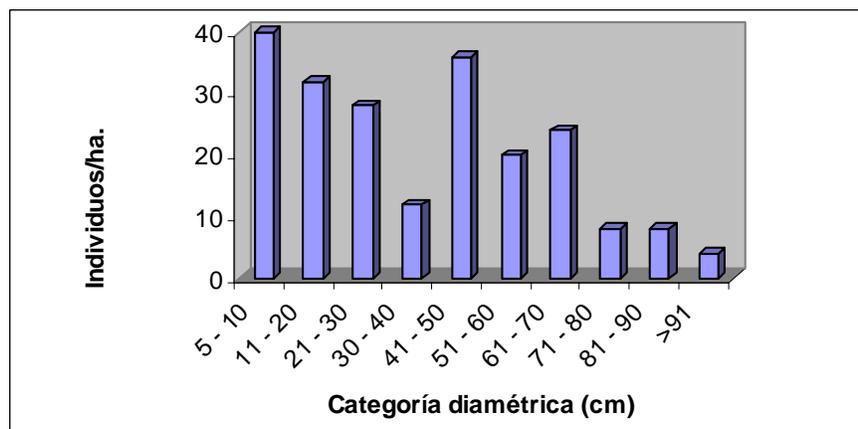


Figura 7. Distribución diamétrica de la asociación de *Acaena elongata-Abies religiosa* de la CRM.

Para la asociación de *Senecio cinerarioides-Abies religiosa* se registraron diámetros que oscilan entre los 6 y 60 cm. Sin embargo, es la asociación con el menor número de individuos registrados los cuales se distribuyen entre la primera y quinta categoría (Fig. 8).

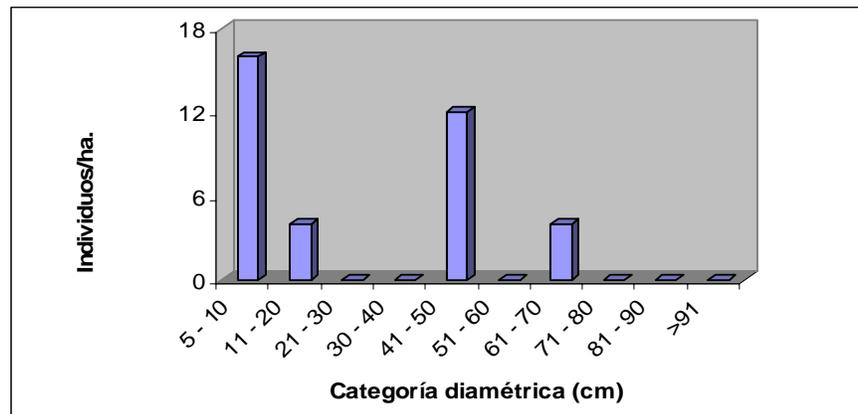


Figura 8. Estructura diamétrica de la asociación *Senecio cinerarioides-Abies religiosa* de la CRM.

Estructura vertical

Al igual que en la estructura diamétrica, el bosque de *Abies religiosa* registra el mayor número de individuos dentro de la primera categoría altimétrica. La mayor parte de los individuos se ubican dentro de la categoría I (1-10 m) con 205 in/ha, seguida de la II (11-20) con 77 in/ha (Figura 9).

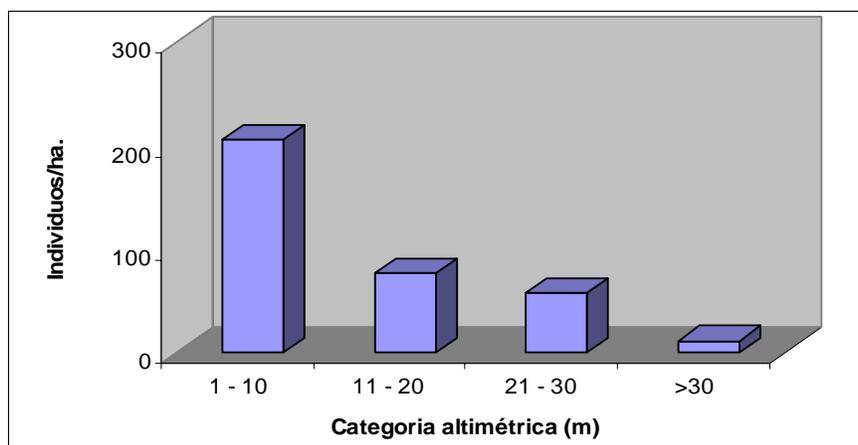


Figura 9. Distribución vertical del bosque de *Abies religiosa* de la CRM.

Sin embargo, son notables las diferencias que existen por asociación vegetal. Para el caso de la asociación de *Senecio angulifolius-Abies religiosa*, se tienen registradas alturas que oscilan desde 1 m hasta 33 m (Figura 10).

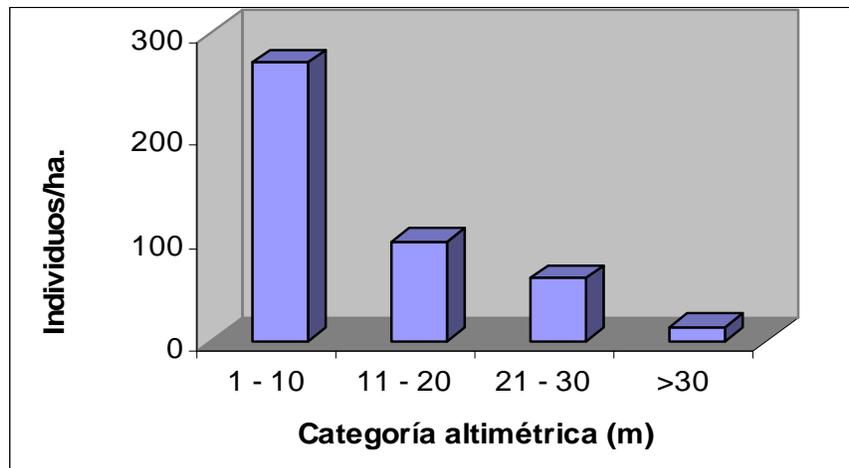


Figura 10. Distribución vertical de la asociación *Senecio angulifolius-Abies religiosa*.

El análisis altimétrico muestra que el 61 % de los individuos (271 in/ha) de esta asociación entran dentro de la categoría I (1-10 m). Es decir, son individuos bajos con alturas de no más de 10 m. El 22 % de los individuos (98 in/ha), pertenece a la categoría II (11-20 m), con altitudes entre 11 y 20 m. El 14 % son individuos con troncos más altos que oscilan entre 21 y 30 m. Por último, una pequeña proporción, 3 %, se refiere a troncos de entre 31 y 33 m.

Para la asociación *Acaena elongata-Abies religiosa*, se encontró que la mayor parte de los individuos (88 in/ha) se ubica en la categoría III, cuyas alturas oscilan entre 21 y 30 m. Le sigue en abundancia la categoría I (60 in/ha) con el 28 % de los individuos y finalmente las categorías II y IV con 24 y 5 % de los individuos respectivamente (Figura 11).

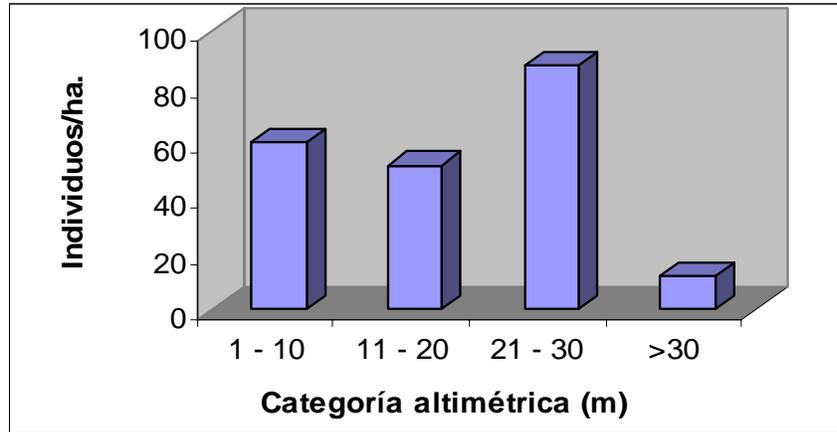


Figura 11. Estructura vertical asociación *Acaena elongata*-*Abies religiosa* de la CRM.

Para la asociación de *Senecio cinerarioides*-*Abies religiosa* se registró una altura mínima de 3 m y una máxima de 27 m. El 55 % de los individuos pertenecen a la categoría I (1-10 m) en tanto que 44 % pertenecen a la III (21-30 m) (Fig. 12).

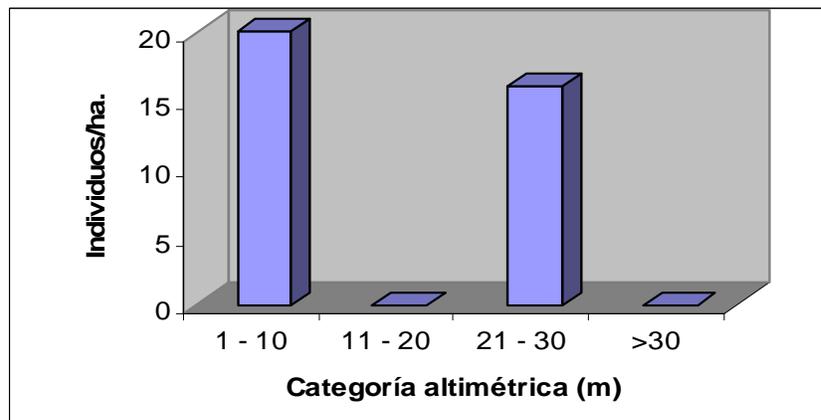


Figura 12. Estructura vertical de la asociación *Senecio cinerarioides*-*Abies religiosa* de la CRM.

Estimación del contenido de carbono

La biomasa registrada para el bosque de *Abies religiosa*, es de 213 ton/ha. Los valores en hectárea, de volumen y biomasa promedio por asociación vegetal, se presentan en la tabla 6, en donde se aprecia las diferencias que existen entre los valores de cada una de las asociaciones.

Tabla 6. Biomasa total por asociación del bosque de *Abies religiosa* en la CRM

Asociación vegetal	Biomasa ton/ha
<i>Senecio angulifolius</i>	150
<i>Acaena elongata</i>	261
<i>Senecio cinerarioides</i>	30

El valor de biomasa más alto se encuentra en la asociación de *Acaena elongata-Abies religiosa* la cual presenta únicamente 212 individuos por hectárea.

La asociación de *Senecio cinerarioides-Abies religiosa*, presenta los valores más bajos de biomasa debido principalmente a la baja cobertura arbórea registrada, dadas las condiciones de deterioro en las que se encuentra.

Carbono almacenado. Los contenidos de carbono por sitio de muestreo se muestran en orden descendente en la Tabla 7. El sitio con el mayor contenido de carbono es el 5 que pertenece a la asociación de *Senecio angulifolius-Abies religiosa* y el menor contenido de carbono pertenece a la asociación de *Senecio cinerarioides-Abies religiosa*, cuya cobertura arbórea viva reportada es de 0.

Tabla 7. Contenidos de carbono por unidad de muestreo en el bosque de *Abies religiosa* de la CRM.

Sitio	Asociación de <i>Abies religiosa</i>	Área basal (m ²)	Volumen (m ³)	Biomasa (t)	tC en 625 m ²	tC/ha	Categoría
5	<i>S. angulifolius</i>	7	112	58	26	419	Alto
24	<i>A. elongata</i>	5	73	38	17	272	Alto
14	<i>S. angulifolius</i>	4	66	34	15	248	Alto
15	<i>S. angulifolius</i>	4	52	27	12	194	Alto
16	<i>S. angulifolius</i>	3	50	26	12	187	Alto
1	<i>S. angulifolius</i>	3	49	26	12	184	Alto
17	<i>S. angulifolius</i>	3	36	19	8	136	Alto
23	<i>A. elongata</i>	2	32	17	7	119	Alto
21	<i>A. elongata</i>	2	31	16	7	116	Alto
20	<i>S. angulifolius</i>	2	24	12	6	89	Alto
9	<i>S. angulifolius</i>	1	20	12	6	89	Alto
11	<i>S. angulifolius</i>	1	21	11	5	81	Alto
6	<i>S. angulifolius</i>	1	20	11	5	77	Medio
3	<i>S. angulifolius</i>	1	16	8	4	58	Medio
18	<i>S. angulifolius</i>	1	15	8	4	58	Medio
10	<i>S. angulifolius</i>	1	15	8	4	56	Medio
8	<i>S. angulifolius</i>	1	14	7	3	53	Medio
19	<i>S. angulifolius</i>	1	13	7	3	48	Medio
2	<i>S. angulifolius</i>	1	12	1	3	46	Medio
4	<i>S. angulifolius</i>	1	11	6	3	41	Medio
13	<i>S. angulifolius</i>	1	10	5	2	38	Medio
12	<i>S. angulifolius</i>	1	9	5	2	33	Medio
22	<i>A. elongata</i>	1	8	4	2	29	Bajo
27	<i>S. cinerarioides</i>	0.31	5	3	1	18	Bajo
28	<i>S. cinerarioides</i>	0.34	4	2	1	17	Bajo
7	<i>S. angulifolius</i>	0.63	4	2	1	15	Bajo
25	<i>S. cinerarioides</i>	0.21	3	1	1	10	Bajo
26	<i>S. cinerarioides</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0	Bajo
Total		51	727	374	171	2731	
xha		29	415	213	98	98	
x1433 ha de bosque		41600	594,982	305,886	139,753	139,753	

Según la tabla anterior, en promedio se registran 98 tC/ha para el bosque de *Abies religiosa* de la CRM, que multiplicado por la superficie de todo el bosque (1433 ha) muestra un almacén de carbono de 139,752 ton. Es de notar que el sitio 5 presenta un almacén de carbono elevado (418.8 tC/ha) comparado con el resto de los sitios analizados. Según la información de campo, el número de individuos y los datos de estructura reportados para este sitio, se muestra la presencia de individuos de tallas muy grandes con grandes cantidades de biomasa. Por lo anterior y considerando que este es el único sitio con tales características, se obtuvo el almacén de carbono/ha con base en la mediana de los datos, para así evitar la sobrestimación que se genera a partir de la media aritmética.

La mediana de los datos indica que el almacén del bosque es de 58 tC/ha (Tabla 8), con un almacén total de 83,630 tC para 1433 ha de bosque de *Abies religiosa*.

Tabla 8. Mediana de los datos del bosque de *Abies religiosa* en la CRM.

Sitio	Área basal (m ²)/ha	Vm ³ /ha	Biomasa(t)/ha	C.C/ha
18	17.07	245.04	129.53	58.29
3	16.47	250.49	129.85	58.43
Mediana	16.77	247.77	129.69	58.36

C.C: Contenido de carbono

El análisis de los datos por asociación vegetal, revela que el mayor contenido de carbono por ha, lo presenta *Acaena elongata-Abies religiosa*, seguida de *Senecio angulifolius-Abies religiosa* y finalmente *Senecio cinerarioides-Abies religiosa* (Tabla 9).

Tabla 9. Contenido de carbono (C.C) por asociación vegetal del bosque de *Abies religiosa* en la CRM.

Asociación de <i>Abies religiosa</i>	Área basal/ha	Volumen m ³ ha	Biomasa/ha.	C.C/ha
<i>Senecio angulifolius</i>	20	287	150	68
<i>Acaena elongata</i>	35	503	261	117
<i>Senecio cinerarioides</i>	4	57	30	13

Condiciones ambientales del bosque de *Abies religiosa* de la CRM

El bosque de *Abies religiosa* se desarrolla en un gradiente altitudinal que va de los 2750 a los 3500 m snm. Las laderas presentan orientaciones N, NO, NE, SE, O, E. Con respecto al relieve del del terreno, se encontró que existen pendientes muy variadas que pueden oscilar entre 5° a 65°.

Por asociación vegetal, se encontró que la asociación de *Senecio angulifolius-Abies religiosa*, se distribuye entre los 2750 a los 3500 m snm, con laderas orientadas principalmente al NO, O, SE, E. Es la asociación dominante dentro del bosque de *Abies religiosa*, con un registro de 20 muestreos (1.25 ha). Las pendientes varían de 2° a 60° (Tabla 10).

Tabla 10. Características de los sitios correspondientes a la asociación *Senecio angulifolius-Abies religiosa* de la CRM.

Sitio	Altitud (m s.n.m.)	Orientación de la ladera	Pendiente en grados	Clasificación de cobertura	Regeneración
1	3260	SE	45	Semiabierto	Media
2	3275	NO	20	Cerrado	Media
3	3435	NO	20	Abierto	Media
4	3430	O	45	Cerrado	-
5	3455	SE	60	Cerrado	Media
6	3505	SE	40	Cerrado	Alta
7	3145	NO	20	Cerrado	Media
8	3140	NE	5	Semiabierto	Baja
9	3370	O	55	Semiabierto	Media
10	3310	SE	30	Semiabierto	Media
11	3380	NO	30	Semiabierto	Media y ref.
12	3295	NO	40	Cerrado	Media
13	2802	E	35	Semiabierto	Baja
14	3500	SE	50	Cerrado	Alta
15	3300	N	-	-	Ref.
16	3273	NE	5	Cerrado	Alta
17	3405	SE	25	Semiabierto	Media y ref.
18	3455	SE	65	Semiabierto	Media
19	3490	SE	60	Cerrado	Alta
20	3120	NO	20	Semiabierto	Baja

La asociación de *Acaena elongata-Abies religiosa* se distribuye entre los 3100 a los 3500 m snm, con laderas orientadas principalmente al SE, SO. Se tienen registrados cuatro levantamientos (.25 ha). Las pendientes van de 25° a 65° (Tabla 11).

Tabla 11. Características de los sitios correspondientes a la asociación *Acaena elongata-Abies religiosa* de la CRM.

Sitio	Altitud m snm	Orientación de la ladera	Pendiente en grados	Clasificación de cobertura	Regeneración
21	3101	SE	30	Cerrado	Media
22	3240	-	25	Cerrado	-
23	3430	SE	30	Cerrado	Media y ref.
24	3500	SO	65	Cerrado	Media

La asociación de *Senecio cinerarioides-Abies religiosa*, se distribuye entre los 3110 y los 3370 m snm, con laderas orientadas al SO, SE y NE. Se tiene registro de cuatro levantamiento

(.25 ha) y se considera como una asociación con alto grado de deterioro. La pendiente mínima es de 40 ° y la máxima de 60° (Tabla 12).

Tabla 12. Características de los sitios correspondientes a la asociación *Senecio cinerarioides* – *Abies religiosa* de la CRM.

Sitio	Altitud m s.n.m	Orientación de la ladera	Pendiente en grados	Clasificación de cobertura	Regeneración
25	3310	NE	40	Abierto	Alta
26	3370	SO	46	Abierto	Media
27	3133	SO	60	Abierto	Media
28	3220	SE	50	Abierto	Media

El análisis de correlación de Pearson muestra que la orientación es la variable que más se relaciona con el número de individuos arbóreos, con un coeficiente de -0.503 (Tabla 13). No existe relación significativa entre variables como la pendiente y altitud con el número de individuos o el área basal (Anexo 2).

Tabla 13. Correlación de la orientación y el número de individuos del bosque de *Abies religiosa* de la CRM.

		Orientación	No. de individuos
Orientación	Pearson Correlation	1	-.503(**)
	Sig. (2-tailed)		.007
	N	27	27
No. de individuos	Pearson Correlation	-.503(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.007	
	N	27	28

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Las orientaciones en las que se encontró el mayor número de individuos son NO y SE (Fig 13), sin embargo, las orientaciones en donde se registró la mayor área basal son SE y SO (Fig.14).

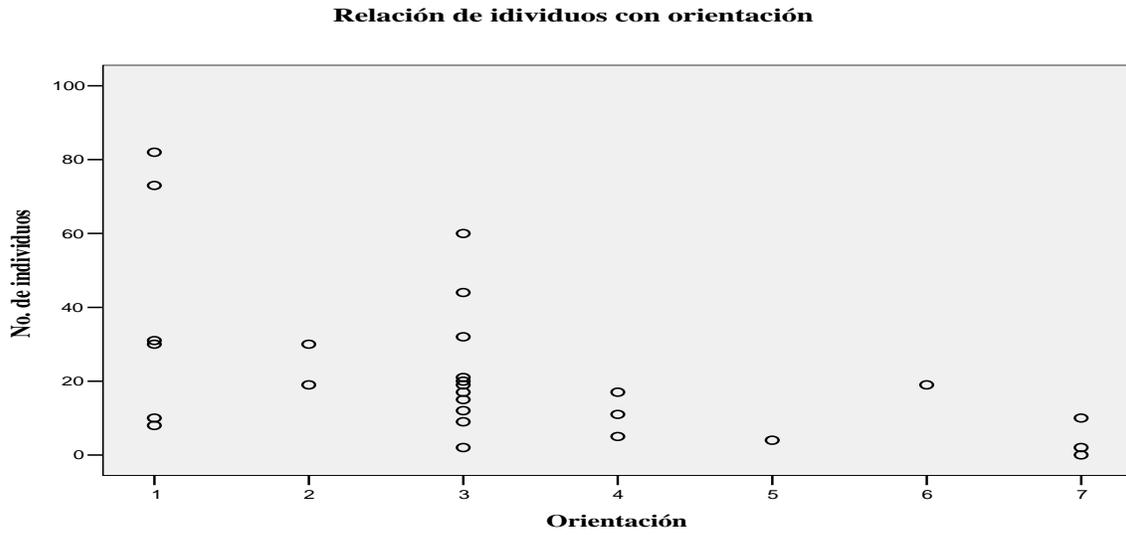


Figura 13. No. de individuos con respecto a la orientación en el bosque de *Abies religiosa* de la CRM.
 1: NO; 2:O; 3:SE; 4:NE; 5:E; 6:N; 7:SO.

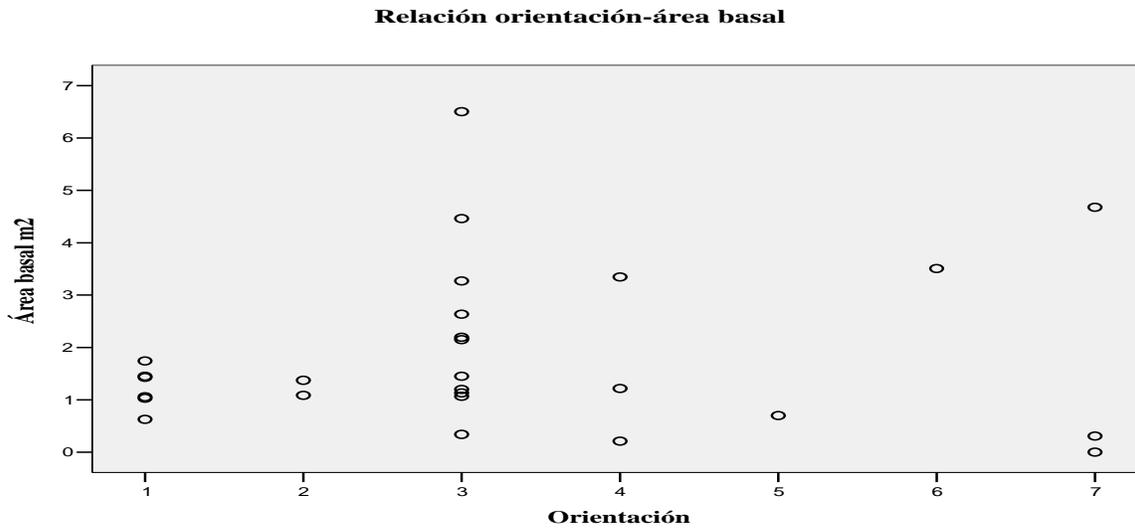


Figura 14. Relación de la orientación con el área basal en el bosque de *Abies religiosa* de la CRM.
 1: NO; 2:O; 3:SE; 4:NE; 5:E; 6:N; 7:SO.

Usos y manejo del bosque

El ejercicio de juicio de expertos, a la Biól. Zenia Saavedra y al M. en C. Víctor Ávila-Akerberg arrojó la siguiente información con respecto a los usos del bosque y su manejo.

Los bosques de la CRM, son importantes para los pobladores del área, ya que de éstos se obtienen productos maderables y no maderables, además de que en ellos se realizan actividades productivas como la agropecuaria y la turística.

Con respecto a los productos maderables, es una actividad que no está legalizada por lo que no se da en gran medida. Sin embargo, se sabe que a pesar de la veda forestal existe la tala clandestina (no en gran escala) y saneamientos por medio de la recolecta de madera de árboles caídos o muertos en pie. Según la fuente consultada, estos saneamientos sólo se realizan bajo trámite el cual resulta muy tardado por lo que la comunidad casi nunca lo hace. Además de las ramas, se comenta que en ocasiones se extraen árboles pequeños principalmente de oyamel, pino y encino, que son utilizados generalmente para leña ya sea para las estufas de los puestos de comida o bien para algunas casas.

En cuanto a la explotación de productos no maderables y dado que la población de la cuenca es muy tradicionalista, se aprovechan algunas plantas para remedios y recetas caseras. Se realizan colectas para hacer: “Té de monte” y se colecta la perlilla (*Symphoricarpos microphyllus*) ya que se hacen escobas para jardín con fines comerciales. Utilizan para follaje al *Abies religiosa* y aprovechan los pastos (*Bouteloa spp*, *Muhlenbergia spp.*) para el ganado que está libre en el monte. Por otro lado, se hace recolecta de bellotas de encinos, conos de pinos y oyameles, orquídeas, heno y musgo para hacer adornos en la temporada de navidad.

Para las actividades agropecuarias, existen pequeñas extensiones que van de 200 hasta 3000 m². Dentro de los cultivos destacan la calabaza (calabacita), maíz, haba, papa, acelga, nopal, frijol, setas, girasol y jacintos, productos que se venden en la misma zona o son para autoconsumo. Así también, existen plantaciones forestales de eucaliptos y cedro blanco (*Cupressus lusitanica*) y producción de rosas en invernadero (40, 000 plantas anuales), árboles frutales (1 ha) y árboles de navidad (4 ha), que son las actividades que presentan mayor interés por parte de los comuneros. Estos son los proyectos productivos más representativos para la CRM y a pesar de que estas actividades agropecuarias no son tan relevantes como la turística, la población solicita asesoría para mejorar la explotación de ellas.

Con respecto a la actividad turística, ésta se ha vuelto muy importante ya que mucha gente vive del turismo principalmente aquellos que tienen negocios de comida. Lamentablemente esta actividad no está bien organizada, lo que ocasiona que no sea este muy extendida, además de acarrear problemas de incendios por fogatas, caza ilegal, extracción de flora y fauna y contaminación. Por otro lado, la falta de control sobre el número de visitantes principalmente en época de semana santa y fines de semana, causa problemas a la fauna nativa además de perturbar lugares conservados del bosque.

Cabe aclarar, que la información anterior es de la comunicación personal de expertos que han realizado estudios dentro de la zona y de los mismos habitantes del área. Sin embargo, no se tienen números exactos con respecto por ejemplo, a la tala clandestina que según los entrevistados existe para la CRM. Sin embargo, uno de los datos de campo fue inventariar el número de tocones y árboles muertos en pie, que de alguna forma indican indirectamente que existe cierta presión sobre el arbolado.

Bajo este contexto, se registró para todo el bosque un total de 142 tocones que equivalen a 81 tocones por hectárea. Por asociación vegetal, la que presentó el mayor número de tocones por hectárea es la de *Senecio angulifolius-Abies religiosa* seguida de *Senecio cinerarioides-Abies religiosa* y finalmente la de *Acaena elongata-Abies religiosa* (Tabla 14).

Tabla 14. No. de tocones y árboles muertos en pie por asociación vegetal.

Asociación vegetal	Tocones/ha	Individuos muertos/ha
<i>Senecio angulifolius-Abies religiosa</i>	84.8	51.2
<i>Acaena elongata-Abies religiosa</i>	16	2.4
<i>Senecio cinerarioides-Abies religiosa</i>	12.8	46.4

VIII. DISCUSIÓN

El bosque de *Abies religiosa* de la CRM

Se considera un bosque denso con alta cobertura vegetal de 50 a 100 %, y es la comunidad de mayor diversidad dentro de la CRM (Nava, 2003). Presenta dos estados: conservado, el cual abarca aproximadamente 1373 ha y perturbado con 60 ha (Ávila-Akerberg, 2004), dentro de las cuales existen diferencias en su composición y cobertura vegetal que han permitido la distinción de tres asociaciones vegetales (Nava, 2003), que son la base del análisis que se reporta en el presente trabajo (Tabla 15).

Tabla 15. Asociaciones del bosque de *Abies religiosa* de la cuenca del río Magdalena, D.F.

	Unidad de vegetación (Ávila-Akerberg, 2004)	Asociación	Intervalo altitudinal m snm
Comunidad de <i>Abies religiosa</i>	<i>Abies perturbado</i>	<i>Senecio cinerarioides</i>	3130-3370
	<i>Abies conservado</i>	<i>Acaena elongata</i>	2850-3500
		<i>Senecio angulifolius</i>	2750-3500

La estructura y composición del bosque de, muchas veces se ven determinadas por la altitud, pendiente y orientación. De acuerdo con Gómez (2003), las orientaciones con los bosques de *Abies religiosa* más vigorosos en México son: N, S, SE, SO, O, lo cual se ve reflejado en este trabajo en donde las orientaciones con el mayor número de individuos son NO y SE. Sin embargo, los datos de campo indican la existencia de orientaciones muy variadas para cada tipo de asociación, con diferente comportamiento estructural.

Para la asociación de *Senecio angulifolius-Abies religiosa*, se registró en su mayoría una exposición SE, aunque los sitios con el mayor número de individuos tiene una exposición NO. La asociación de *Acaena elongata-Abies religiosa*, presenta dos orientaciones NO y SE, siendo ésta última la del mayor porcentaje de cobertura arbórea (100 %) y la del mayor número de individuos (17). De la misma forma, la asociación de *Senecio cinerarioides-Abies religiosa*, a pesar de presentar tres orientaciones (SO, NE y SE) es la SE, la del mayor porcentaje de cobertura arbórea.

Por otro lado, la altitud y la pendiente, tampoco son factores determinantes en el comportamiento del bosque, ya que no existe relación estadística entre estas variables con la asociación vegetal, ni con los porcentajes de cobertura de vegetación. Lo anterior significa que a pesar de haber pendientes de 65°, el bosque tiende a ser muy semejante que en aquellos sitios en donde la pendiente es cercana a 5°.

Éstos resultados son semejantes a los que reporta Nieto de Pascual (1995) quien usa los descriptores ecológicos de exposición, pendiente, altitud y microrrelieve. En este estudio se encuentra que no existe una dependencia estadística que relacione el estado del bosque con los descriptores ecológicos, en especial con la pendiente y altitud. Sin embargo y de acuerdo con la misma autora, se aprecia una relación entre la densidad del arbolado con la exposición SO sin acusar relaciones de dependencia estadística, ya que se presentan sitios con densidades forestales cercanas a los valores extremos superiores con exposiciones distintas.

Con respecto al comportamiento estructural, el análisis indica que la distribución vertical y diamétrica que presenta el bosque, corresponde a la clasificación de bosque natural propuesta por Manzanilla (1974), en donde la actividad humana se concreta a cortas ilegales e incontroladas y en donde el desarrollo del bosque se ve influenciado en gran medida por incendios. Para estos bosques, el mismo autor define una edad promedio entre 10 y 60 años. Sin embargo, se distinguen diferencias de densidad, área basal y estructura, en cada una de las asociaciones vegetales, lo cual refleja que el bosque es heterogéneo y que responde de manera diferencial a condiciones ambientales.

Para el caso de la asociación de *Senecio angulifolius-Abies religiosa*, las gráficas de altitudes y diámetros, muestran una típica distribución de “J” invertida (Hawley y Smith, 1960; Pimentel, 1979; Figueroa y Olvera, 2000), lo que indica que en su mayoría se trata de individuos jóvenes. Este tipo de estructura es común en los bosques multietáneos, en donde las copas de los árboles tienen diferentes alturas y cuya característica principal es el elevado número de individuos dentro de las primeras categorías diamétricas. El resultado de esto es un bosque irregular, comportamiento común en especies tolerantes a la sombra como *Abies religiosa* (Grijpma, 1990), el cual alcanzará la madurez en diferentes períodos de tiempo (Figueroa y Olvera, 2000).

De acuerdo con la literatura, el reclutamiento de especies muchas veces es resultado de condiciones de deterioro recientes. Es decir, la falta de uno o varios árboles dominantes, facilita la existencia de claros en el dosel que permiten el establecimiento de especies pioneras y el reclutamiento de plántulas de especies arbóreas (Rozas, 2002; Schnitzer y Bongers, 2002).

Para la asociación de *Senecio angulifolius-Abies religiosa*, se registró en promedio 85 tocones/ha, lo que puede explicar que en efecto exista cierta presión sobre el arbolado a causa de la tala clandestina que, según la información recabada en las entrevistas, existe dentro de la cuenca. Por otro lado, esta asociación fue la que registró la mayor regeneración de las tres asociaciones vegetales.

Otro parámetro importante a considerar, es la densidad de individuos y el área basal. Con respecto a la densidad, esta asociación presentó 443 in/ha. Sin embargo, el área basal reportada es de 32.23 m²/ha, lo cual es inferior a lo registrado por la asociación de *Acaena elongata-Abies religiosa*. Esto confirma, que se trata de individuos jóvenes, de diámetros delgados y baja altura.

La asociación de *Acaena elongata-Abies religiosa* es de particular atención. Por un lado, la especie arbustiva que la representa *Acaena elongata*, es considerada como indicadora de deterioro ya sea por actividades como el pastoreo o bien por tratarse de sitios poco soleados (Madrigal, 1967). Por otro lado, su distribución tanto diamétrica como altimétrica difiere de la anterior, en presentar un mayor número de individuos dentro de las categorías diamétricas mayores. En este caso, la distribución típica de un bosque joven no está bien definida. Sin embargo, si se considera la clasificación de Manzanilla (1974), la distribución de *Acaena elongata-Abies religiosa*, podría ser más comparable con la típica distribución de un bosque virgen, en donde un gran número de individuos se concentra en las categorías mayores, sugiriendo que se trata de sitios con tendencia a la madurez. Para estos, hay una mejor representación de aquellas categorías mayores y de acuerdo a Manzanilla (1974), este tipo de bosques se concentran generalmente en pequeños manchones, muchas de las veces coincidiendo con sitios de poca insolación, en donde es factible el crecimiento de especies de sotobosque tolerantes a la sombra como *Acaena elongata*.

Por otro lado, la información de campo y las gráficas de altitudes y diámetros muestra que esta asociación presenta también individuos dentro de categorías menores, sugiriendo un

reclutamiento de especies que permitirá la viabilidad del bosque mediante la sustitución de árboles de estratos superiores por aquellos de estratos inferiores.

Con respecto a la densidad arbórea, se registraron para esta asociación 212 in/ha, lo que corresponde a poco menos del 50 % de lo evaluado para *Senecio angulifolius-Abies religiosa*. Sin embargo, el área basal muestra que *Acaena elongata-Abies religiosa* contribuye con el 38.66 m²/ha, lo cual explica la presencia de individuos de tallas grandes para esta asociación. Según los datos de campo, se registró 16 tocones/ha lo que indica baja extracción de madera en estos sitios a diferencia de la asociación de *Senecio angulifolius-Abies religiosa*.

De la misma forma que la asociación anterior, la de *Senecio cinerarioides-Abies religiosa*, es de particular atención por diversos factores. Por un lado, *Senecio cinerarioides* es considerada una especie indicadora de deterioro principalmente por incendios. Sin embargo, algunos autores ubican a dicha especie como parte del proceso de sucesión del bosque de *Abies religiosa* (Gómez, 2003). El análisis de los parámetros estructurales, sugiere un estado de conservación muy bajo para esta asociación. De hecho, es la que pertenece a la categoría de *Abies* perturbado (Ávila-Akerberg, 2004) caracterizada por tener la densidad arbórea (36 in/ha) y el área basal (3.43 m²/ha), más baja de las tres asociaciones Cabe aclarar, que esta zona se vio afectada por los incendios de 1998, lo cual se ve representado por la especie arbustiva característica de esta asociación. Por lo anterior, es un bosque muy abierto en donde algunos sitios no registraron cobertura arbórea viva. Sin embargo, es importante destacar que la información de campo como la composición florística del sitio y la regeneración, muestran que existen elementos florísticos representativos de las diferentes etapas sucesionales de esta comunidad (Anexo 3).

El análisis estructural del bosque de *Abies religiosa*, permitió definir el comportamiento del bosque mediante parámetros como la densidad, el área basal y la estructura vertical, y diamétrica, que son considerados como indispensables, al hacer estudios sobre el estado actual de un bosque, que tenga como finalidad ya sea su aprovechamiento óptimo o bien, la formulación de propuestas de manejo (Manzanilla, 1974; Rozas, 2002). Así también, es de gran importancia considerar la composición florística del sitio y su dinámica natural.

Dentro de este contexto, diversos estudios para *Abies religiosa*, han señalado, que presenta características estructurales muy particulares dependiendo del tipo de manejo al que ha

sido sometido el bosque, señalando de la misma forma que las diferencias en la composición vegetal, dependen no sólo del manejo si no también a los distintos estados sucesionales en los que se encuentra (Manzanilla, 1974; Madrigal, 1964).

Carbono almacenado como servicio ecosistémico

De acuerdo con Jujnovsky (2006), el bosque de *Abies religiosa*, es la comunidad dentro de la CRM, que contribuye más con la generación de servicios ecosistémicos, tanto de provisión (agua y alimento) como de regulación (control de la erosión y remoción en masa). Sin embargo, es importante señalar que dentro de los servicios de regulación, también destaca la purificación del aire a través de la captura y almacenamiento de carbono que se ve reflejado en las 83,630 tC que almacena actualmente el bosque de *Abies religiosa* con un promedio de 58 tC/ha. Este último dato comparado con lo que reporta Espinosa (2005) para el bosque de *Pinus hartwegii* (44 tC/ha) de la CRM, reitera la importancia de la comunidad de *Abies religiosa* como el principal almacén de carbono dentro de la CRM. Lo anterior puede ser causa de que el bosque de *Abies religiosa* es más cerrado y con mayor biomasa, comparado con el de *Pinus hartwegii* que tiende a ser más abierto.

Cabe mencionar que el almacén de carbono que actualmente presenta la comunidad estudiada, depende principalmente de la dinámica natural del bosque, del manejo al que se encuentra sometido o bien a las condiciones ambientales. Es por ello que por asociación vegetal, se ven diferencias marcadas en cuanto a biomasa y almacenes de carbono.

La asociación que contribuye con la mayor cantidad de biomasa y carbono almacenado es la de *Acaena elongata-Abies religiosa* (261 t/ha y 117 tC/ha), debido principalmente a la presencia de individuos de tallas grandes. Por los valores altos que reporta, podría considerarse la asociación tipo al que eventualmente debería alcanzar el resto del bosque. Hay que recordar que en el caso de la asociación de *Senecio angulifolius-Abies religiosa*, se trata en su mayoría de un estrato arbóreo de troncos delgados y tallas pequeñas, en tanto que en la asociación de *Senecio cinerarioides-Abies religiosa*, el grado de deterioro se ve reflejado por la presencia de un estrato arbóreo quemado y por la ausencia de un estrato arbóreo vivo. Sin embargo, de las tres asociaciones la que promete el mayor potencial de captura de carbono, es la asociación de *Senecio angulifolius-Abies religiosa*, en virtud del éxito en el crecimiento de su estrato arbóreo.

El almacén actual de la asociación de *Senecio cinerarioides-Abies religiosa*, es muy bajo y por el contrario, es muy probable que por su estado actual de deterioro, se esté liberando CO₂ a la atmósfera debido a la descomposición de la materia muerta, que podría ser contrarrestado mediante estrategias de restauración que permitan la recuperación de la cobertura vegetal y su potencial de captura, hasta llegar a un almacén comparable con las otras dos asociaciones vegetales.

El almacén promedio registrado para *Abies religiosa* en este trabajo, es comparable con el reportado por Fragoso (2003) para el predio “Cerro Grande” en Tancítaro, Mich, de 57 tC/ha. Sin embargo, otros estudios, estiman un almacén de carbono promedio de 70 tC/ha en vegetación para bosques de coníferas y 53 tC/ha, en el caso de bosques de encino y latifoliadas (Masera et al., 1997). De la misma forma, si se compara el almacén de carbono de *Abies religiosa* de la CRM, con lo que reporta Valenzuela (2001) para el Desierto de los Leones y Cumbres del Ajusco (208 tC/ha), el valor que reporta la CRM está muy por debajo, resultando de particular interés ya que pese a la cercanía de los sitios el almacén de carbono es muy diferente de un lugar a otro.

Con base en esta información, el almacén de carbono del bosque de *Abies religiosa* de la CRM, se encuentra por debajo del promedio que se ha reportado para bosques de coníferas. Los motivos pueden ser muy diversos destacando la edad del arbolado y el comportamiento estructural, como los principales. Es importante reiterar, que en el análisis estructural del bosque de *Abies religiosa* de la CRM, se muestra un bosque joven por lo que se espera tenga alto potencial de captura de carbono que permita en el largo plazo un almacén de carbono mayor, semejante al promedio registrado en otros sitios.

Con respecto a la estimación del almacén de carbono para otros tipos de vegetación como por ejemplo bosques tropicales, se ha estimado un almacén promedio de 61 tC/ha para el bosque tropical deciduo y en el orden de 150 – 162 tC/ha para el bosque tropical siempre verde (Masera et al., 1997). Con base en esto, se puede inferir que hay un mayor almacenaje de carbono por parte del bosque tropical siempre verde, que traducido en términos de de servicios ecosistémicos, es este tipo de vegetación la que más contribuye con la generación del servicio de almacenaje y captura de carbono. Sin embargo, esto no excluye la importancia que tienen otros tipos de vegetación como por ejemplo el bosque de coníferas y en el caso particular de la CRM, el bosque de *Abies religiosa*.

Bajo este contexto, es de suma importancia dar los lineamientos necesarios que permitan al bosque de *Abies religiosa* de la CRM, aumentar y conservar su almacén de carbono como un servicio ecosistémico más dentro de la cuenca. El papel de la cobertura forestal, la relación que existe entre los habitantes de la zona y el uso, y tipo de actividades realizadas, son factores esenciales que deben considerarse en proyectos de secuestro y conservación de carbono (Bass et al., 2000). Dentro del marco de “manejo del carbono”, existen dos grandes tipos de proyectos; aquellos que buscan un desarrollo rural y aquellos cuyo objetivo principal es el generar sistemas de compensación de carbono. Dentro de los primeros se encuentra el proyecto Scolel Té, que trabaja con comunidades rurales en México capturando carbono en sistemas forestales sustentables y que tiene como propósito asegurarse que el carbono sea capturado de manera fiable en el largo plazo en sistemas que sean económicamente viables y responsables social, y ambientalmente. Por otro lado, el programa Face de forestación, Profafor del Ecuador S.A., es una empresa ecuatoriana, apoyado y financiado por la fundación holandesa “Face” (Forests Absorbing Carbondioxide Emission) (Bosques para la Absorción de Emisiones de Dióxido de Carbono), cuyo principal objetivo es fijar CO₂ de la atmósfera mediante el establecimiento de bosques.

Sería conveniente tomar como punto de partida las experiencias de estos dos proyectos para implementarlos dentro de la CRM, mediante un sistema que ayude no sólo a aumentar y conservar el almacén de carbono, si no que al mismo tiempo permita el desarrollo de los habitantes de la zona.

Propuestas de manejo del bosque de *Abies religiosa*.

Las propuestas de manejo para el bosque de *Abies religiosa*, se basan principalmente en las estrategias de manejo de carbono propuestas internacionalmente por el instituto de ambiente y desarrollo de Londres (Bass et al., 2000), las cuales se enfocan hacia la conservación del carbono mediante el establecimiento de áreas naturales protegidas, o bien mediante estrategias dirigidas al secuestro de carbono, considerando la restauración de sitios deteriorados o bien el establecimiento de plantaciones que tengan como objetivo no sólo el almacenaje de carbono si no un desarrollo económico-social.

Cual sea la estrategia a seguir, siempre es necesario partir de un diagnóstico no sólo ambiental si no social del ecosistema en estudio. Por tal motivo la caracterización del bosque de *Abies religiosa* de la CRM, aunada a la información social proporcionada por las entrevistas, fue de gran ayuda para dirigir las propuestas de manejo.

El bosque de *Abies religiosa* de la CRM, se define como un bosque joven con alto potencial de captura de carbono por la alta regeneración, y se espera que en algunos años este almacén sea mayor que el actual dado el crecimiento de los árboles jóvenes. Ante esto, la propuesta de manejo consideraría únicamente la conservación de carbono promoviendo el mantenimiento del bosque y evitando la tala clandestina.

Sin embargo, a este nivel la propuesta de manejo resulta muy general pues el bosque no es homogéneo ni estático y como se vio en los resultados, responde de manera diferencial a las condiciones ambientales. Por tal motivo las propuestas de manejo se dan a nivel de asociación vegetal, considerando que el comportamiento tiende a ser homogéneo para cada una de ellas.

a) Asociación de *Acaena elongata-Abies religiosa*. Presenta el modelo estructural tipo por la biomasa y contenidos de carbono altos, dada la existencia de árboles más grandes. Sin embargo, si se puntualiza por sitio de muestreo algunos de estos presentaron regeneración media a baja, que puede ser causa de: (1) la alta cobertura arbustiva registrada en algunos de los sitios, (2) actividades realizadas en las zona como el pastoreo o bien (3) la recolecta de individuos pequeños que como se vio en la entrevista, es una de las actividades de extracción realizadas en el bosque.

El mantenimiento de esta asociación es fundamental ya que *Acaena elongata-Abies religiosa* está en un proceso de maduración. Es indispensable realizar monitoreos con la finalidad de evaluar la regeneración que permita continuar con la dinámica natural del bosque.

Una forma de agilizar el proceso de regeneración natural, es considerar los requerimientos básicos de *Abies religiosa*. Las condiciones de luz y sombra son factores determinantes, y se considera al sotobosque como un inhibidor en la incidencia de luz.

El estudio de Manzanilla (1974) sugiere el mantenimiento del 40 y 50 % del sotobosque. Por encima de estas cifras, se inhibe la regeneración por exceso de sombra así como por competencia con otras especies. Por el contrario, por debajo del 40 % de sotobosque, hay un aumento en la incidencia de luz, que no permite la regeneración.

Un segundo factor, consecuencia del exceso de cobertura en el estrato arbustivo y herbáceo, es la materia orgánica, que cuando es mayor del 70 % (SIRE-CONAFOR), inhibe la regeneración de *Abies religiosa*.

Considerando que la asociación de *Acaena elongata-Abies religiosa* muestra algunos datos de perturbación en la zona principalmente por pastoreo, se podría pensar que es esta actividad aunado a la extracción de individuos pequeños lo que ocasiona la escasez de regeneración en algunos sitios. Para estos casos, valdría la pena la concertación y participación conjunta con los comuneros con el fin de cambiar esta actividad por el mantenimiento del bosque. Sería importante incorporar una ganancia económica por la conservación y restauración del área, de tal manera de que estas actividades sean más redituables que el mismo pastoreo. Para esto último, es necesario hacer una evaluación costo-beneficio de las actividades que se realizan en el bosque, que permitan mediante una comparación, evaluar cuál de las dos actividades resulta más beneficiosa en términos económicos: la conservación y restauración del área a partir del incentivo de pago por servicio ecosistémico, en este caso captura de carbono, o bien las actividades como pastoreo, tala clandestina entre otras, que actualmente se realizan en el área.

b) Asociación de *Senecio angulifolius-Abies religiosa*. Es la que presenta la mayor regeneración de las tres asociaciones y en términos de captura de carbono es la que promete el mayor potencial. Sin embargo, el análisis estructural revela que la presión sobre el arbolado se encuentra en las categorías de mayor tamaño. Esto puede ser causa de que las mismas condiciones del ambiente no están permitiendo alcanzar una madurez arbórea o que se trata de un bosque que va en recuperación apenas o bien que la tala clandestina, a pesar de no ser excesiva, está repercutiendo en el comportamiento estructural del bosque. Es indispensable la comunicación con los comuneros para que disminuya la extracción de madera.

Para que esta asociación tenga un almacén de carbono mayor al actual (68 tC/ha), es indispensable que el bosque crezca para aumentar su biomasa y para ello es fundamental su mantenimiento y conservación que depende principalmente de los comuneros y de las acciones tanto de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADER) como de la delegación Magdalena Contreras.

Para ambas asociaciones mencionadas anteriormente, la estrategia a seguir dentro del marco de “manejo del carbono” es la conservación, considerando importantes cambios en el

manejo del arbolado, monitoreos constantes que ayuden a prevenir incendios forestales, tala ilegal y extracción de flora. Así también, y dado que una de las estrategias para la conservación de carbono es la expansión de áreas naturales protegidas, es necesario redefinir la situación legal de la CRM, que le permita redefinir una categoría de manejo.

c) Asociación *Senecio cinerarioides-Abies religiosa*. Es muy especial pues es una zona que se vio afectada por los incendios de 1998. Su grado de deterioro se ve reflejada en la cobertura forestal que es muy baja y en la presencia del arbusto *Senecio cinerarioides* que es característico en áreas perturbadas por incendios. Sin embargo, a pesar de haber sitios en los que no existe cobertura arbórea viva a excepción de especies en el estrato arbustivo y herbáceo, los elementos característicos de la sucesión de *Abies religiosa* están presentes lo que quiere decir que se están llevando a cabo los procesos que de alguna manera van a permitir el establecimiento del bosque de *Abies religiosa*. Dentro de estos elementos destaca el mismo *Senecio cinerarioides*, acompañado de especies como *Viburnum stenocalyx*, *Salix paradoxa* y coníferas como *Pinus*. Para estos sitios, las propuestas de restauración van encaminadas a la supervisión del proceso de sucesión, considerando que en algunos casos este tendría que ser acelerado. Es decir, algunos de los sitios únicamente presentan *Senecio cinerarioides*, lo que significa que el proceso de sucesión va lento comparado con otros sitios en donde ya hay presencia de especies de *Quercus* sp. y otras latifoliadas y *Pinus*, que se caracterizan por ser de la última etapa en el proceso de sucesión de *Abies religiosa* (Madrigal, 1964; Gómez, 2003).

Para los sitios con abundancia en el estrato arbustivo, lo conveniente sería un aclareo de este estrato con la finalidad de permitir la incidencia de luz. De acuerdo con Manzanilla (1974), los procesos de sucesión en el bosque de *Abies religiosa* se pueden acelerar, incorporando plántulas de *Pinus*, caracterizados por ser de rápido crecimiento y de esta manera dosificar adecuadamente la luz para con ello permitir la regeneración natural de *Abies religiosa*. Sería conveniente incorporar especialmente en estos sitios, parcelas permanentes de estudio que permitan evaluar las condiciones del suelo como nutrientes, materia orgánica, así como los procesos de sucesión.

Queda claro que para la asociación de *Senecio cinerarioides-Abies religiosa*, la estrategia previa a la conservación del carbono, es la estrategia de secuestro que en este caso es mediante la restauración del bosque natural. Sin embargo, existen otras alternativas como plantaciones para la

producción de madera y carbono y la agroforestería (Bass et al., 2000), que además de secuestrar carbono aportan un beneficio económico a los pobladores del lugar. Ante esto, habría que considerar como una segunda opción, el establecimiento de una pequeña plantación, bajo un programa forestal estricto, que permita por un lado la producción de madera para autoconsumo y que por otro contribuya con la disminución de la tala ilegal en la zona. De esta manera se cumple con la recuperación del almacén de carbono en la vegetación y a su vez los habitantes del área obtienen un beneficio directo mediante el uso de la madera.

Lo anterior son las propuestas de manejo para el bosque de *Abies religiosa* tomando en consideración las asociaciones vegetales presentes en este. Es una primera aproximación como propuesta de manejo que sirve como punto de partida para el establecimiento de un plan de manejo comunitario que considere las necesidades ambientales y sociales y el cual sea dirigido a la conservación mediante la estrategia de pago por servicios ecosistémicos.

El Anexo 4 muestra una matriz de propuestas de restauración cuya base son las unidades de paisaje reportadas para el bosque de *Abies religiosa* (Jujnovsky, 2003). Dicha matriz permite visualizar no sólo la heterogeneidad del bosque, si no las necesidades de cada asociación vegetal.

IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El bosque de *Abies religiosa* de la cuenca del río Magdalena, es un bosque natural joven con alto potencial productivo, excepto en aquellas zonas en donde la cobertura arbórea se vio afectada por incendios.
- El análisis estructural y las diferencias en composición florística por asociación vegetal, revelan que el bosque presenta diferentes etapas sucesionales con almacenes de carbono variables.
- La asociación de *Senecio angulifolius* – *Abies religiosa*, corresponde a un bosque natural joven. Es la que presenta la mayor cantidad de individuos en las primeras categorías diamétricas y altimétricas con un almacén de carbono medio (68 tC/ha). Es indispensable su mantenimiento que permita a largo plazo un almacén de carbono mayor.
- La asociación de *Acaena elongata* – *Abies religiosa* corresponde estructuralmente a un bosque con tendencia a la madurez, el cual presenta el mayor almacén de carbono (117 tC/ha). Algunos sitios presentan baja regeneración de *Abies religiosa* por lo que es importante su manejo para aumentar la regeneración permitiendo así, la viabilidad del bosque.
- La asociación de *Senecio cinerarioides* – *Abies religiosa* es la más perturbada. Presenta diferentes estados sucesionales típicos de un bosque desintegrado y presenta el almacén de carbono más bajo (13 tC/ha). Es urgente su reforestación para recuperar la cobertura forestal y de esta manera el almacén de carbono.
- Las propuestas de restauración en cualquiera de los sitios, van encaminadas principalmente a promover la regeneración natural de *Abies religiosa*. La adecuada dosificación de luz resulta muy importante para la regeneración del bosque por lo que es fundamental controlar el crecimiento del sotobosque.

- El pastoreo, la tala clandestina y los incendios están afectando la cobertura forestal, que lleva consigo una disminución del servicio ecosistémico de captura de carbono. Resulta esencial el establecimiento de monitoreos en el área para disminuir aquellas actividades que afectan el bosque, incluyendo la turística.

Recomendaciones:

- Es necesario generar más información detallada de suelos, geomorfología, ecología y biodiversidad. La integración de estas disciplinas con la parte socioeconómica, es fundamental tanto para el acervo científico como para el manejo integral de la CRM.
- Cabe aclarar en todos los casos, que para poder alcanzar estructuras de gran tamaño, que se puedan traducir en grandes almacenes de carbono, es esencial disminuir la presión humana sobre el recurso, para lo cual es importante convencer a la población involucrada de los beneficios de mantener un bosque sano e íntegro mediante programas de educación y comunicación ambiental. De esta manera, se respetarán los lineamientos establecidos por los programas de restauración, siempre y cuando existan para ellos otras alternativas que les permitan un sustento económico superior al uso mismo del bosque.
- Se recomienda hacer un análisis económico detallado de los beneficios de restaurar el bosque a partir del servicio ecosistémico de captura de carbono. La comunicación personal con los habitantes del área, refleja el interés de la población por la conservación y restauración del bosque y se considera importante un aporte económico para su mantenimiento.
- La CRM, es una zona muy vulnerable dada su ubicación en los límites del Distrito Federal. El no tener bien definida su jurisdicción, además de presentar problemas de tenencia de la tierra, hace de esta zona de estudio un foco de atención inmediata. Es urgente redefinir su situación legal, que permita en el largo plazo el mantenimiento de los tres servicios ecosistémicos más importantes: captura de carbono, biodiversidad y mantenimiento de la cuenca hidrológica.

X. REFERENCIAS

- Alvarado, D. Patrón Espacial de la Distribución de ozono atmosférico y su relación con la declinación del Oyamel (*Abies religiosa*) en el Parque Desierto de los Leones, D.F. Ficha Técnica. CONAFOR. Consultado en: www.conafor.gob.mx
- Arthur, M. 1982. The carbon cycle - controls on atmospheric CO₂ and climate in the geologic past. *Climate in Earth History*: Washington, DC. National Academy Press, National Academy of Sciences, Studies in Geophysics. 55-67.
- Ávila-Akerberg, V. 2002. La vegetación en la cuenca alta del río Magdalena: un enfoque floístico, fitosociológico y estructural. Tesis de licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 92 pp.
- Ávila-Akerberg, V. 2004. Autenticidad de los bosques en la cuenca alta del río Magdalena: diagnostico hacia la restauración ecológica. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, UNAM, México, 112 pp.
- Balmford, A., Bruner, A., Cooper, P., Costanza, R., Farber, S., Green, E., Jenkins, M., Jefferiss, P., Jessamy, V., Madden, J., Munro, K., Myers, N., Naeem, S., Paavola, J., Rayment, M., Rosendo, S., Roughgarden, J., Trumper, K., Turner, K. 2002. Economic reasons for conserving wild nature. *Science* 297: 950-953.
- Bass, S., Dubois, O., Moura, Costa, P., Pinard, M., Tipper, R. and Wilson, C. 2000. Rural livelihoods and carbon management. IIED Natural Resource Issues Paper No. 1. International Institute for Environment and Development, London. 94 pp.
- Bishop, J., Landell-Mills, N. 2002. Forest Environmental Services: An Overview. In: *Selling Forest Environmental Services: Market-based mechanisms for conservation and development*. Earthscan Publications Limited. London. 299 pp.
- Bonfil, C., Pisanty, I., Mendoza, A. y Soberón, J. 1997. Investigación y Restauración Ecológica. El caso del Ajusco Medio. *Ciencia y Desarrollo* 23(135): 15-23
- Bradshaw, A. 1993. Restoration ecology as a science. *Restoration Ecology* 1: 71-73.
- Castillo, A. 2005. Comunicación para la restauración: perspectivas de los actores con y por medio de las personas. En: *Temas sobre restauración ecológica*. INE-SEMARNAT, U.S Fish & Wild life Service, Unidos para la conservación, México, 2-16.
- Ciesla, W. 1996. Cambio climático. Bosques y Ordenación Forestal. Roma, FAO, 44-45.
- Clewell, A. y Rieger, J. 1997. What Practitioners Need from Restoration Ecologists. *Restoration Ecology* 5(4): 350-354.

- Daily, G., Alexander, S., Ehrlich, P., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P., Mooney, H., Postel, S., Shneider, S., Tilman, D. y Woodwell, G. 1997. Ecosystems services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology*. 2:1-16.
- De Jong, B., O. Masera y T. Hernández. 2004. Opciones de captura de carbono en el sector forestal. En: Cambio climático. Una visión desde México. Julia Martínez y Adrián Fernández (Comps). INE-SEMARNAT. 369-380.
- Dirzo, R. 2001. Forest Ecosystems Functioning, threats and value: Mexico as a Case Study. In: *Managing Human – Dominated Ecosystems. Monographs in Systematic Botany from de Missouri Botanical Garden*. Missouri Botany Garden Press, St. Louis Missouri. 84:47-64
- Figueroa, R. y Olvera, M. 2000. Dinámica de la composición de especies en bosques de *Quercus crassipes*. H. et B. en Cerro Grande, Sierra de Manantlán, México. *Agrociencia*. 34:91-98.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2001a. Global Forest Resource Assessment. FAO Forestry Paper No. 140. Rome, FAO.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2001b. State of the World's Forests 2001. Rome, FAO.
- GEF-UNEP. 1999. Technical advisory panel of the Global Environment Facility-United Nations Environment Program. Report of Biodiversity Conservation in Managed Forest. México.
- Gómez, G. 2003. Estado del conocimiento de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. Tesis profesional. Chapingo, Texcoco, Edo. de México, México. Capítulos 2 y 6.
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC). 2002. Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V del IPCC. OMM-WMO-PNUMA-UNEP. 85 p.

- Hawley, R. y Smith, D. 1960. The practice of silviculture; the selection method. 6th ed. New York, John Wiley. 143-191.
- Hutchinson, T. 1999. Ecología. En: Henry, J. y Heinke, G. 1999. Ingeniería Ambiental. 2a edición. Prentice Hall, México, 303-337 pp.
- Hernández, E. 1986. Distribución y utilidad de los *Abies* en México. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, México, 15:75-94.
- Hoffmann, R. 1996. Problemas y perspectivas de la valoración de recursos y procesos naturales: análisis de costo-beneficio en áreas rurales del “Tercer Mundo”. Economía Informa. 253:29-44.
- Hernández, T. y De Bauer, L. 1989. La supervivencia vegetal ante la contaminación atmosférica. Centro de Fitopatología. Colegio de Postgraduados, México, 79 p.
- Jaramillo, V. 2004. El ciclo global del carbono. En: Cambio Climático, una visión desde México. Martínez, J. y Fernández, A. (comps.) INE-SEMARNAT, México, 77-85.
- Jujnovsky, J. 2003. Las unidades de paisaje en la cuenca alta del río Magdalena, México, D.F. Base Fundamental para la planificación ambiental. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 77 pp.
- Jujnovsky, J. 2006. Servicios ecosistémicos relacionados con el recurso agua en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM, México, 70 pp.
- Leff, E. 1998. Saber ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder. Siglo XXI editores, UNAM y PNUMA, México, D.F.
- Lorenzo, S. 2000. La conservación de la biodiversidad y el mercado. En: Muñoz, C. y González A. (comps.). Economía, sociedad y medio ambiente. Reflexiones y avances hacia un desarrollo sustentable en México. Instituto Nacional de Ecología-Semarnap, México, 147-166
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/consultaPublicaion.html?idpub=313&idtema=5&dir=Consultas>
- Lovelock, J. 1988. The Ages of Gaia. New York: W.W. Norton and Co.
- Madrigal, S. 1967. Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de Oyamel (*Abies religiosa* H.B.K. Schl. et Cham) en el Valle de México. Bol. Técnico Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. No. 18, México, 80 pp.
- Manzanilla, H. 1974. Investigaciones epidométricas y silvícolas en bosques mexicanos de *Abies religiosa*. México. Dirección General de Informaciones Públicas. SAG. 165 pp.

- Martínez, M. 1963. Las Pináceas Mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México, 3ª edición. México, D.F., 75-159.
- Martínez, E. 1996. Restauración Ecológica y Biodiversidad. Ciencias 43: 56-59.
- Masera, O., Ordóñez, M., Dirzo, R. 1997. Carbon emissions from mexican forests: current situation and long-term scenarios. Climatic Change 35: 256-295.
- Masera, O. 1995. Carbon mitigation scenarios for Mexican forest methodological considerations and results. Interciencia 20(6): 388-395.
- Masera, O., B. De Jong, I. Ricalde y A. Ordóñez. 2000. Consolidación de la Oficina Mexicana para la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero. Reporte Final. Instituto de Ecología-UNAM y ECOSUR.
- Merino, L. G. Segura. 2002. El manejo de los recursos forestales en México, 1992-2002. Procesos, tendencias y políticas públicas. En: De Río a Johannesburgo. La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe. PNUMA-INE-SEMARNAT-UAM. Consultado en: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/363/cap10.html>
- Millenium Ecosystem Assessment (MA). 2003. Ecosystems & human well-being, Chap 2: Ecosystem & their services, Millenium Ecosystem Assessment. 245 pp.
- Mostacedo, B. y T.S. Fredericksen, 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR) Santa Cruz, Bolivia.87. Consultado en: <http://www.cadex.org/bolfor/Libros/Ecología%20Vegetal.pdf>.
- Nava, M. 2003. Los bosques de la cuenca alta del río Magdalena, D.F., México. Un estudio de vegetación y fitodiversidad. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 87 pp.
- Nieto de Pascual, P. 1986. Síntomas de deterioro del arbolado en la Sierra del Ajusco. INIREB, Xalapa, Ver. Biótica. Vol. 11 (1): 25-44.
- Nieto de Pascual P. 1995. Estudio sinecológico del bosque de Oyamel de la Cañada de Contreras, Distrito Federal. Revista Ciencia Forestal Vol. XX, No. 77 3-34.
- Olguin, M. 2001. Incorporación de la captura de carbono como propuesta de manejo forestal integral: estudio de caso en una comunidad de la Meseta Purepecha, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 73 pp.
- Ordóñez, B. y Masera, O. 2001. La captura de carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques 7(1):3-12.

- Ordóñez, B. 1999. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. INE-SEMARNAP, México. 72 pp.
- Pimentel, L. 1979. Determinación del volumen óptimo en bosques de *Abies religiosa* (H.B.K) Schl. Et Cham. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. De México. 150 pp.
- Rozas, V. 2002. Estructura y patrones de regeneración del roble y la haya en un bosque maduro del litoral occidental de Cantabria. Inves. Agr.: Sist. Rec. For. 11 (1): 107-136. Consultado en: <http://www.fao.org/>
- Rozzi, R., R. Primack, P. Feinsinger, R. Dirzo y F. Massardo. 2001. ¿Qué es la biología de la conservación?. En: Primack, R., R. Rozzi, P. Feinsinger, R. Dirzo y F. Massardo. Fundamentos de Conservación Biológica. Perspectivas Latinoamericanas. Fondo de Cultura Económica, México, 45-58.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México. 432 pp.
- Rzedowski, J., Vela, L. y Madrigal, X. 1977. Algunas consideraciones acerca de la dinámica de los bosques de coníferas en México. Ciencia Forestal 2 (5): 15-35.
- Rzedowski, J. 1991a. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. Acta Botánica Mexicana. 14: 3-21.
- Saavedra, L., Alvarado, D., Vargas, J. y Hernández, T. 2003. Análisis de la precipitación pluvial en bosques de *Abies religiosa* (HBK.) Schltld. et Cham., en el sur de la Ciudad de México. Agrociencia. Vol. 37 (1): 57-64.
- Schimel, D. 1995. Terrestrial Ecosystems and the Carbon Cycle. Global Change Biology 1: 77-91.
- Schlesinger, W., 1991. The Global carbon cycle. Chap. 11. En: Biogeochemistry and analysis of Global Change. Academic Press. Sn Diego. Páginas
- Schnitzer, S. y Bongers, F. 2002. The ecology of lianas and their role in forest. Trends in Ecology & Evolution 17 (5): 223-230.
- SER (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group). 2004 a. Natural capital and Ecological Restoration, an occasional paper of the SER Science and Policy Working Group. (www.ser.org).
- SER (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group). 2004 b. The SER International Primer on Ecological Restoration

- Smith, T. M., W. P. Cramer, R. K. Dixon, R. Leemans, R. P. Neilson y A. M. Solomon. 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle. *Water, Air and Soil Pollution* 70: 3-15. Tipper, R. y B.H.
- Valenzuela, T. 2001. Estimación de secuestro de carbono en bosques naturales de Oyamel (*Abies religiosa*) en el sur del Distrito Federal. Tesis profesional. Ingeniero Forestal. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Texcoco, Edo. de México. 127 pp.
- Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis Muñoz, M. I. Alcocer Silva, M. Gual Díaz, C. Sánchez y Dirzo, R. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM.
- Vitousek, P. 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology*. 75 (7): 1861-1876.
- Zamora, R. 2002. La restauración ecológica: una asignatura pendiente. *Ecosistemas: Revista de divulgación científica y técnica de ecología y medio ambiente*. (1): 4.

XI. ANEXOS

