

Estimación del almacenamiento de carbono y la percepción social de los servicios ecosistémicos que brinda el bosque de *Abies religiosa* de la cuenca presa Guadalupe, Estado de México



Isabel Xarhini García Cepeda*

Lucía Almeida Leñero

*Laboratorio de Ecosistemas de Montaña, Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México*

Víctor Ávila-Akerberg

*Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales
Universidad Autónoma del Estado de México*

Resumen

El principal uso de suelo de la cuenca presa Guadalupe corresponde al forestal; su ubicación en la parte noroeste de la Ciudad de México hace de esta una zona importante para mitigar los gases de efecto invernadero (GEI). Cuenta con 4 303 ha de bosque de *Abies religiosa*, el cual fue caracterizado de acuerdo con los atributos hallados en 42 levantamientos. Se hicieron estimaciones del contenido de carbono en árboles vivos, muertos en pie, tocones y troncos caídos, y se encontró que el contenido total de carbono es de 91.22 t/ha. Se realizó un análisis multivariado que arrojó que el almacén de carbono es mayor en altitudes bajas, la riqueza vegetal aumenta mientras más alejado de los caminos esté el bosque, y la regeneración se incrementa en altitudes mayores. Se entrevistó a personas de diferentes grupos sociales para identificar su percepción sobre los servicios ecosistémicos que proporciona el bosque y su apreciación acerca del estado de salud de éste. La mayoría de los habitantes y autoridades reconoce que hay un uso del bosque, en tanto, menos de la mitad de los visitantes fue capaz de identificarlo; la tala fue el uso más mencionado. Los encuestados desconocen si existe un proyecto para el cuidado del bosque y consideran su estado como regular-malo. La disminución de la vegetación y su calidad contribuyen a la problemática ambiental incrementando la emisión de GEI, por lo que es fundamental desarrollar proyectos para el cuidado del bosque.

PALABRAS CLAVE

Cuenca presa Guadalupe, bosque de *Abies religiosa*, almacén de carbono, percepción social, servicios ecosistémicos.

Recibido: 15/09/2015 Aceptado: 12/10/2015

*Correo electrónico: xarhini9@hotmail.com





Estimation of carbon storage capacity and social perception of the ecosystem services provided by the *Abies religiosa* forest in the Guadalupe Dam basin, State of Mexico

Isabel Xarhini García Cepeda*

Lucía Almeida Leñero

*Laboratorio de Ecosistemas de Montaña, Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México*

Víctor Ávila-Akerberg

*Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales
Universidad Autónoma del Estado de México*

Abstract

Forestry is the main land use of the Guadalupe Dam basin; its location northwest of Mexico City makes this an important zone for the mitigation of greenhouse effect gases (GEI). The *Abies religiosa* forest covers 4 303 ha and has been characterized according to the qualities found in 42 studies. Estimates of the carbon content of living trees, dead standing trees, tree stumps and fallen logs were made finding that the total carbon content is 91.22 t/ha. A multivariate analysis revealed that carbon storage is larger at lower altitudes, vegetation wealth increases the farther the forest is from the roads and regeneration increases at higher altitudes. People from different social groups were interviewed to identify their perception with respect to the ecosystem services provided by the forest as well as their appreciation of the health of the forest. The majority of inhabitants and authorities recognizes that forest use is present while less than half of the visitors were able to do so; logging was mentioned as the main use. Interviewees ignore if there is a management project to preserve the forest and consider the forest's state as regular to bad. The loss of vegetation and its quality contribute to the environmental problems by increasing the emission of greenhouse effect gases that make the development of forest management projects a key issue.

KEY WORDS

Guadalupe Dam Basin, *Abies religiosa* forest, carbon storage, social perception, ecosystem services.

*E-mail: xarhini9@hotmail.com

Teoría y Praxis 19
(2016: 65-93)

Introducción

El cambio climático es un fenómeno que se expresa como una desviación del tiempo meteorológico promedio esperado o de las condiciones climáticas normales (temperatura y precipitación) para un lugar y tiempo dados. En la actualidad, el cambio climático global se atribuye generalmente a la concentración en la atmósfera de los llamados gases de efecto invernadero (GEI) por arriba de los niveles históricos; y, debido a su abundancia, el dióxido de carbono (CO₂) es el GEI más importante producido por las actividades humanas (IPCC, 2007: 2, 25).

Los sistemas ecológicos de la Tierra, por medio de los cuales el carbono queda retenido en la biomasa viva, en la materia orgánica en descomposición y en el suelo, desempeñan un papel fundamental en el ciclo del carbono, el cual es intercambiado de manera natural entre estos sistemas y la atmósfera mediante los procesos de fotosíntesis, respiración, descomposición y combustión (Manson *et al.*, 2008: 224).

Al apropiarse de los recursos naturales, el hombre cambia el estado de algunos componentes del ecosistema, y dadas las relaciones funcionales que ocurren entre estos, al cambiar el estado de uno de ellos se afecta, en mayor o menor grado, al resto de los componentes del sistema (Maass, 2007). Lo anterior provoca una crisis ambiental, por lo que es necesario comprender por qué y cómo se dan estas transformaciones y cuáles son sus consecuencias sobre el bienestar humano (Sarukhán *et al.* cit. en Sánchez, 2010: 1).

Entender esta crisis ambiental ha requerido de una reconceptualización continua de la problemática, promoviendo así una investigación interdisciplinaria que ayude a conocer la complejidad y las distintas dimensiones de esta (Toledo, 2000: 45). Por lo tanto, el estudio de las percepciones sociales toma gran importancia en el contexto de la problemática ambiental, ya que estas se vinculan con la toma de decisiones (Durand, 2000: 8).

El objetivo principal del presente trabajo fue estimar el almacenamiento de carbono del bosque de *Abies religiosa* en la cuenca presa Guadalupe (CPG) y evaluar la percepción que tienen los distintos actores en el área sobre los servicios ecosistémicos (SE). Los objetivos particulares fueron realizar una descripción general de la composición y estructura del bosque de *Abies religiosa* en la CPG, obtener la biomasa del bosque mediante una ecuación volumétrica, calcular el almacén de carbono a partir de la biomasa, identificar las relaciones

entre la información fitosociológica y las variables ambientales, y entrevistar a los actores de la cuenca para conocer su percepción acerca de los SE y el estado del bosque.

Antecedentes

Deforestación y cambio climático

El cambio climático global constituye uno de los problemas ambientales más severos, propiciado por el incremento de las emisiones de GEI. Se ha determinado que el CO₂ es la principal causa de los GEI (Ordóñez, De Jong y Masera, 2001); el aumento de la concentración de este gas se debe al uso industrial y doméstico de combustibles que contienen carbono (petróleo, carbón, gas natural y leña) y a la deforestación (Jaramillo, 2004: 81); aunado a la emisión de los GEI, la reducción de la cobertura vegetal está asociada con la pérdida de los SE que ofrecen los ecosistemas (Daily *et al.*, 1997). Los factores que más impacto tienen en la deforestación son el cambio de uso del suelo, la conversión a praderas y a cultivos agrícolas, así como los incendios forestales y la tala irracional (Ordóñez, De Jong y Masera, 2001).

Las estimaciones mundiales de las tendencias de las emisiones de los bosques realizadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) muestran que las emisiones de la degradación de los bosques están aumentando con el tiempo y representan un cuarto de las emisiones netas provenientes de estos. Según estas estimaciones, los bosques siguen siendo un sumidero neto de carbono en el nivel mundial, almacenando unos dos mil millones de toneladas equivalentes de CO₂ al año durante el periodo 2011-2015 (FAO, 2015).

México abarca 1.7 % del territorio terrestre en el planeta y posee 10 % de la biodiversidad conocida. Sus ecosistemas proveen SE indispensables para enfrentar el cambio climático, tales como el secuestro de carbono, la provisión y mantenimiento del agua, la conservación del hábitat para la permanencia de especies, la reducción de los impactos de los desastres meteorológicos, y la formación y preservación del suelo (Semarnat, 2014).

El factor de mayor impacto en la pérdida de ecosistemas y su biodiversidad y, por ende, de los SE, ha sido la deforestación causada por las actividades

agropecuarias. En México se han perdido 127 especies vegetales de las cuales 74 eran endémicas y se estima que en 2002 la cobertura vegetal natural cubría solo 50 % de la superficie original (Challenger y Dirzo, 2009).

Para combatir esta problemática, en 2010 surgió la Estrategia Nacional REDD+ (ENAREDD+), la cual es un documento de planeación de política pública y cuyo objetivo es lograr la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y degradación de los bosques y conservar e incrementar los acervos de carbono forestal en el marco del desarrollo rural sustentable para México, mediante la alineación de políticas públicas, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad forestal (Conafor, 2010). Previamente, en 2005, se creó el Programa Mexicano del Carbono (PMC), y uno de sus objetivos principales es la investigación de los aspectos físicos, geoquímicos, biológicos y sociales del ciclo del carbono. Para el PMC, en la temática de ecosistemas terrestres, uno de los temas prioritarios es la medición de almacenes del carbono a diferentes escalas: locales, regionales y nacionales; y en la dimensión social busca las percepciones y respuestas sociales en cuanto al diseño y evaluación de gestión de proyectos de captura de carbono vía manejo de ecosistemas y sus SE (PMC, s/f).

Bosque de Abies religiosa

El oyamel (*Abies religiosa*) es un árbol monoico de 35 a 40 m de altura, en ocasiones hasta de 60 m, y diámetro normal de hasta 1.80 m. La presencia de estos ejemplares está confinada a laderas de cerros, a menudo protegidos de la acción de vientos fuertes y de insolación intensa. En muchos sitios se hallan limitados a cañadas o barrancas más o menos profundas que ofrecen un microclima especial. No se desarrollan sobre terrenos planos o poco inclinados, pero tal hecho quizá está en función de la escasez de estos terrenos en la zona montañosa y también, en parte, de la influencia humana (Rzedowski, 2006).

En la república mexicana, el bosque de oyamel se presenta en los estados de México, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Michoacán, Jalisco, Morelos, Guerrero y Tlaxcala (Conafor, 2014). Estos bosques poseen características florísticas y ecológicas especiales, asociadas con factores climáticos y edáficos. Aproximadamente 82 % de la superficie donde se desarrollan corresponde a zonas montañosas en altitudes entre 2 400 y 3 500 m (Sánchez, López y Granados, 2006).

Servicios ecosistémicos

Los SE se definen como los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas (MA, 2003: 53). Existen varias formas de clasificar los SE, la más común los divide en bienes y servicios, para destacar la diferencia entre lo que consumimos, que es tangible, y aquello que nos beneficia de manera menos tangible. Esta clasificación fue propuesta por el Millennium Ecosystem Assessment (MA), una iniciativa internacional que sintetizó la información disponible acerca de la estrecha relación entre los ecosistemas y las sociedades humanas. Los SE más fácilmente reconocibles son los de provisión; se trata de bienes tangibles también llamados recursos naturales; en esta categoría se encuentran los alimentos, el agua, la madera, las fibras, o sea, servicios que proporcionan el sustento básico de la vida humana; los esfuerzos por asegurar su provisión guían las actividades productivas y económicas. Otros servicios igualmente fundamentales para el bienestar humano, aunque menos fáciles de reconocer, son los de regulación, que incluyen procesos ecosistémicos complejos mediante los cuales se regulan las condiciones del ambiente en que los seres humanos realizan sus actividades productivas; en esta categoría se ubican la regulación climática, de los vectores de enfermedades y de la erosión de los suelos, entre otras. Los ecosistemas brindan también beneficios que dependen de las percepciones colectivas de los humanos acerca de los ecosistemas y de sus componentes; en este caso se habla de servicios culturales, los cuales pueden ser materiales o no materiales, tangibles o intangibles. Los beneficios espirituales, recreativos o educacionales que ofrecen los ecosistemas se consideran en esta categoría. Los servicios de soporte son los procesos ecológicos básicos que aseguran el funcionamiento adecuado de los ecosistemas y el flujo de servicios de provisión, de regulación y culturales; entre estos se encuentran la productividad primaria y el mantenimiento de la biodiversidad (MA, 2003: 57).

Los bosques y otros ecosistemas dominados por plantas leñosas proporcionan un gran abanico de SE, que incluyen la regulación de la erosión, del ciclo hidrológico, del clima y de la respuesta de los ecosistemas a eventos extremos; el mantenimiento de la biodiversidad; la provisión de una amplia gama de recursos para la subsistencia de comunidades rurales e indígenas, así como la protección de patrimonios naturales y culturales, y oportunidades recreativas (Shvidenko *et al.*, 2005). En los bosques, la materia orgánica se acumula como

resultado de la productividad primaria en árboles de gran tamaño. Estos árboles son aprovechados por las poblaciones humanas como fuente fundamental de materiales de construcción; su extracción constituye una actividad económica importante. Además, los bosques juegan un papel relevante en la producción de suelo, ya que a través del proceso de interacción y desarrollo de especies se generan desechos (hojas, frutos, ramas) que al caer al suelo y ser descompuestos por bacterias forman el suelo. Este suelo es el sustrato sobre el cual crece la gran mayoría de las plantas y sin el cual serían imposibles los procesos de crecimiento y desarrollo de los bosques y, por lo tanto, de los SE que nos proveen.

Almacenamiento de carbono

El contenido de carbono se refiere al carbono almacenado en la biomasa seca teniendo en cuenta las condiciones actuales de estructura (Espinosa, 2005: 92). Las plantas capturan carbono de forma directa a través de la fotosíntesis que transforma el CO₂ en biomasa e indirectamente como carbono orgánico por el suelo durante los procesos de descomposición. Los bosques, a través de la fotosíntesis, absorben 110 Gt C/año, mientras que mediante la respiración emiten 55 Gt C/año, y por medio de la descomposición, de 54 a 55 Gt C/año (Ordóñez, 1999: 72). La cantidad de carbono capturado en un sitio refleja el balance a largo plazo entre las entradas y las salidas de este elemento en el ecosistema. A diferencia de las especies anuales, los árboles almacenan los componentes de carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que se consideran como reservas naturales de carbono (Acosta *et al.*, 2002).

Para el bosque de oyamel, el crecimiento de su diámetro y, por lo tanto, su mayor captura de carbono atmosférico, culmina entre 81 y 100 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). La categoría diamétrica más productiva se encuentra entre 21 y 40 cm (Manzanilla, 1974: 43), en general durante los primeros 35-40 años (Santillán, 1991: 74). Estos datos permiten identificar los árboles idóneos para ser conservados y aquellos que podrían ser aprovechados dentro de programas de saneamiento.

Percepción social

La conservación de los ecosistemas ha sido un tema estudiado principalmente por científicos; gran parte de la información obtenida ha servido de base para implementar importantes políticas y acciones ambientales, como el establecimiento de áreas naturales protegidas (Guevara y Halffter, 2007). Sin embargo, el manejo de los ecosistemas, gracias a procesos e instrumentos de planeación como el ordenamiento territorial, las decisiones sobre los bienes y servicios brindados por los ecosistemas, así como la identificación y propuesta de acciones de restauración ambiental, requiere, además de contar con información biológica y ecológica, integrar la dimensión humana en los análisis sobre ellos (Castillo *et al.*, 2009).

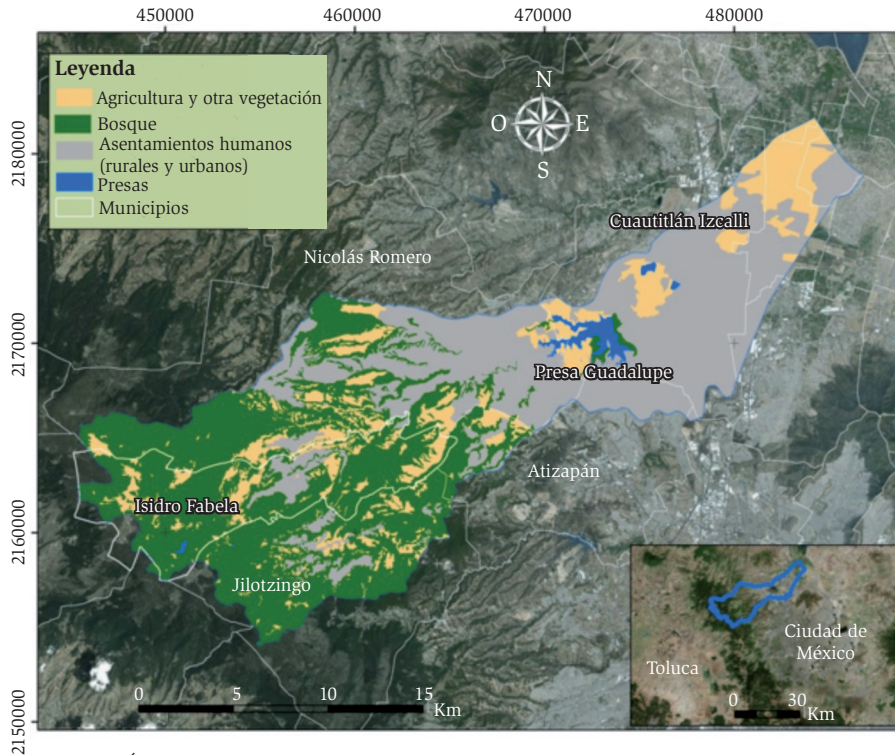
En México, es fundamental reconocer la relevancia de los estudios sobre las percepciones sociales de los habitantes del medio rural respecto a las cuestiones ambientales debido a que son ellos los principales usuarios y propietarios de los ambientes naturales; sus visiones en torno a la naturaleza, la relación de los grupos humanos con ella y sus ideas sobre la conservación ambiental y el propio desarrollo rural constituyen temas centrales de investigaciones encaminadas a promover formas de manejo de ecosistemas que al mismo tiempo mantengan su salud y procuren el bienestar de los grupos humanos (Castillo *et al.*, 2009).

Metodología

Área de estudio

La CPG se ubica en el Estado de México, al noroeste de la Ciudad de México, principalmente dentro de los municipios de Jilotzingo, Isidro Fabela, Nicolás Romero, Atizapán de Zaragoza y Cuautitlán Izcalli. Perteneció a la región hidrológica núm. 26, cuenca río Pánuco, subcuenca río Cuautitlán, y cuenta con una superficie aproximada de 38 000 ha. La precipitación media es de 953 mm y los meses más lluviosos comprenden de mayo a octubre, en los cuales se alcanza 90 % de la precipitación media (Conagua y CCPC, 2008).

La cuenca se subdivide en tres zonas: alta (arriba de 2 800 msnm), media (entre 2 400 y 2 800 msnm) y baja (debajo de 2 400 msnm). La zona alta es una



Fuente: Ávila-Akerberg y González-Martínez (s/f).

Figura 1. Localización de la cuenca presa Guadalupe respecto a las ciudades de México y Toluca; se muestra la división municipal, el uso del suelo y la vegetación.

importante área de recarga del acuífero Cuautitlán-Pachuca, caracterizada por la presencia de bosque de pino y oyamel, y manantiales cuya calidad del agua permite el desarrollo de la actividad acuícola en los municipios de Jilotzingo, Nicolás Romero e Isidro Fabela. En la zona media predominan las actividades agrícolas, pecuarias y acuícolas, así como el cambio de uso de suelo forestal a agrícola. La parte baja contiene la totalidad de los asentamientos urbanos, siendo de alta densidad en los municipios de Nicolás Romero, Atizapán y Cuautitlán Izcalli. En esta zona se localiza la presa Guadalupe –cuyo embalse comúnmente se conoce como Lago de Guadalupe–, que fue construida entre 1936 y 1943 con el propósito de evitar inundaciones de planicies habitadas y zonas agrícolas (Conagua y ccpg, 2008).

La riqueza biológica de la cuenca originó el decreto estatal de dos áreas naturales protegidas: el Parque Estatal Otomí Mexica (Poder Ejecutivo del Estado de México, 1980) y el Santuario del Agua y Forestal Presa Guadalupe (Poder Ejecutivo del Estado de México, 2004), ubicadas en la parte alta y baja de la cuenca, respectivamente. El principal uso de suelo en la cuenca corresponde al forestal (57.6 %), seguido del agrícola y urbano en similares porcentajes de superficie (12.9 % y 12.8 %, respectivamente). El resto se distribuye en cuerpos de agua (1.3 %), zona erosionada, pastizal, tierras sin cultivar y praderas (CCPG, s/f).

Trabajo de campo

Se llevó a cabo un muestreo aleatorio estratificado, en el cual las unidades se agrupan de acuerdo con semejanza en alguna característica (Rivas, 2006: 11); se establecieron 42 parcelas cubriendo una superficie de 4.2 ha, donde las parcelas fueron consideradas representativas y homogéneas para la vegetación del área, buscando abarcar la mayor parte de la distribución del bosque de oyamel. En cada sitio se trazó un círculo con diámetro de 35.7 m cubriendo una superficie de 1 000 m²; se decidió utilizar esta forma de parcela circular debido a que presenta un efecto de borde menor ya que, para la misma superficie, un círculo tiene menos perímetro que un rectángulo, asimismo, la forma y tamaño empleados son el método más común usado en inventarios forestales en México (Ávila-Akerberg, 2010).

Se evaluó solamente el almacén de carbono efectuado por el estrato arbóreo de la comunidad de *Abies religiosa*; para ello se realizó un estudio demográfico en el cual se contó el número de individuos arbóreos por levantamiento; a cada individuo se le estimó su altura y se le midió el DAP a 1.30 m de altura; solo se midieron aquellos individuos con DAP mayor a 5 cm. Además, se contó el número de tocones, de individuos muertos en pie y de individuos con DAP menor a 5 cm. La estimación del carbono contenido por cada árbol y parcela fue calculada usando ecuaciones de biomasa basadas en coeficientes establecidos previamente por diversos autores (cuadro 1).

Estimación del contenido de carbono

El área basal es una medida del espacio horizontal ocupado y puede ser considerada para estimar el volumen y la biomasa de especies arbóreas o arbustivas

Cuadro 1. Clasificación del sistema de seis niveles por Hawksworth (1977)

ESPECIE DE ÁRBOL	DENSIDAD DE LA MADERA	COEFICIENTE MÓRFICO FORESTAL	FACTOR DE EXPANSIÓN DE FUSTES
<i>Abies religiosa</i>	0.41 (INIFAP, 2003)	0.586 (Ramírez, 1988 cit. en Nava, 2006)	1.3 (Cairns et al., 1997)
<i>Pinus hartwegii</i>	0.496 (Rojas, 2008)	0.5 (Rojas, 2008)	
<i>Quercus laurina</i>	0.627 (De la Paz-Pérez, 2000: 158)	0.68 (Zazo y Jiménez, 2000)	1.6 (Macías y Rodríguez, 2003)
<i>Quercus rugosa</i>	0.688 (De La Paz-Pérez, 2000: 215)		
<i>Otras latifoliadas</i>	0.6 (INIFAP, 2003)	0.45 (INIFAP, 2003)	1.4 (INIFAP, 2003)

Fuente: Modificado de Ávila-Akerberg (2010).

(Mostacedo y Fredericksen, 2000: 36). En árboles, este parámetro se mide a partir del diámetro normalizado (DN) con la siguiente fórmula (Espinosa, 2005: 31):

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

$$AB = \text{Área basal}$$

$$\pi = 3.1416$$

DN = diámetro normalizado

A partir de los datos estructurales obtenidos para cada árbol, se calculó el volumen y se multiplicó por el coeficiente mórfoico forestal; ya que el tronco de *Abies religiosa* tiene una forma cercana a un cono, se utilizó esta fórmula (Espinosa, 2005: 34):

$$V = (AB)(h)(0.586)$$

V = volumen

AB = área basal

h = altura

0.586 coeficiente mórfoico

forestal para *Abies religiosa*

Una manera de estimar la biomasa, con un método indirecto, es el producto del volumen del árbol por la densidad de su madera:

$$B = (V)(d)$$

B = biomasa

V = volumen

d = densidad de la madera

Después de calcular la biomasa por individuo, se multiplica por el factor de expansión de fustes (1.3), el cual considera otros componentes de la biomasa adquiridos indirectamente como las raíces, el follaje y las ramas (Espinosa, 2005: 37); luego se calcula el producto de la biomasa con el factor de contenido de carbono, que muestra cuál es la cantidad de este elemento almacenado en un árbol. De acuerdo con datos del IPCC (1994: 129), se sugiere que determinada cantidad de materia vegetal seca contiene de 45 a 50 % de carbono; la fórmula para realizar este cálculo es:

$$CC = (B)(1.3)(0.45)$$

CC = contenido de carbono

B = biomasa

1.3 = factor de expansión para fustes para *A. religiosa*

0.45 = proporción de carbono en biomasa seca

Finalmente, se obtiene el contenido de carbono de cada sitio, el cual se extrapola a una hectárea y se multiplica por la superficie total del bosque de *Abies religiosa*, dando como resultado una estimación de las toneladas de carbono contenido durante el año de muestreo.

Análisis estadístico

Se efectuó un análisis canónico de correspondencia (cca) con el programa Canoco for Windows para buscar la relación entre la información fitosociológica y algunas variables ambientales. Los datos fueron acomodados en dos matrices: 1) incluyó ocho variables ambientales (altitud, pendiente, porcentaje de vegetación, regeneración, carbono almacenado, riqueza, índice de Shannon, distancia a caminos) y 2) consistió en el porcentaje de cobertura de las 142 especies

presentes en las 42 parcelas de muestreo. El *CCA* es una extensión del análisis de correspondencia, en el que la ordenación es hecha directa e iterativamente en relación con las variables ambientales (Ter Braak, 1986). Las opciones seleccionadas en este análisis fueron distancias interespecíficas, escalamiento biplot y sin transformación. La gráfica de ordenación *CCA* se elaboró en el programa CanoDraw 3.1.

Entrevistas a actores sociales

Para identificar el conocimiento y percepción sobre los bienes y *SE* que proporciona el bosque de la *CPG* y conocer la apreciación acerca del estado de salud del bosque de *Abies religiosa*, se realizaron 167 entrevistas estructuradas a actores sociales de diferentes grupos (habitantes, visitantes y autoridades), y se creó una base de datos en Microsoft Excel con sus respuestas; esta información fue procesada y analizada usando estadística descriptiva (promedio y gráficos de pastel).

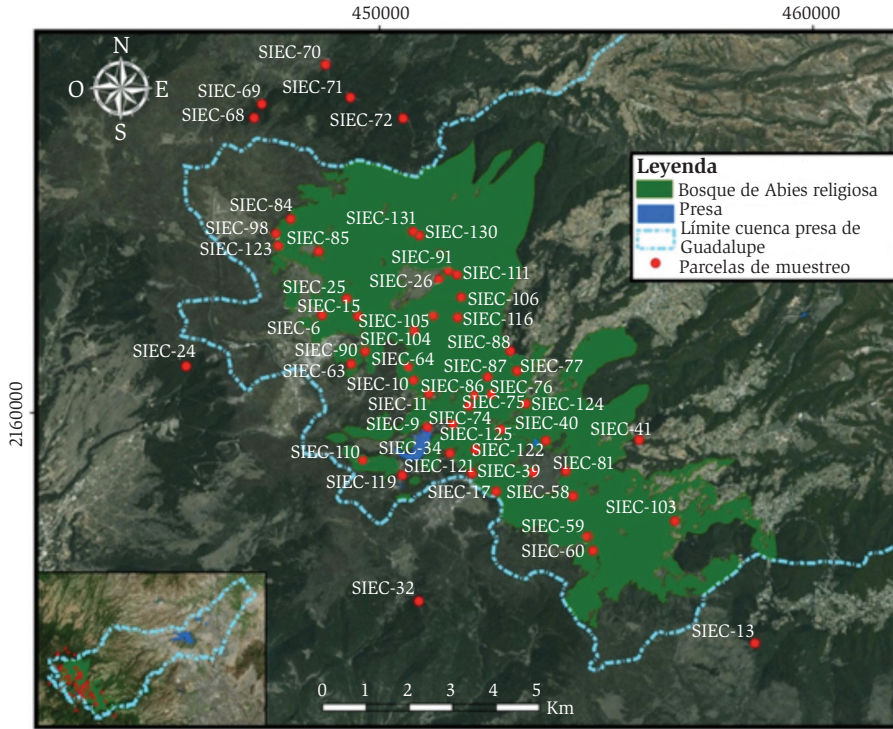
Resultados y discusión

En la *CPG*, el bosque de *Abies religiosa* ocupa una superficie de 4 303 ha, y su distribución se localiza a partir de los 2 800 hasta los 3 500 msnm. Respecto al relieve, se observó que las pendientes oscilan entre 2 y 70°. La mayoría de los levantamientos se encontraron en las laderas N, E, NW, NE y SE, orientaciones en las cuales el bosque era más denso; cabe mencionar que, en altitudes superiores a los 3 500 msnm, el bosque de oyamel se ubica solamente en laderas con exposición norte. En la figura 2 se aprecia su distribución y se señalan los 42 puntos de muestreo.

Descripción general del bosque de Abies religiosa en la cuenca presa Guadalupe

Los árboles tienen una altura promedio de 10.3 m, el rango varía entre 1 y 40 m y un diámetro promedio de 17.3 cm, siendo el mínimo 5 cm y el máximo 125 cm. El bosque presenta un grado de perturbación animal bajo, dado principalmente por ganado vacuno, y de perturbación humana regular, sobre todo por restos de basura e indicios de tala; en 12 sitios de muestreo había señales de incendios. De acuerdo con Nava (2006: 28), conforme al porcentaje de cobertura de

Estimación del almacenamiento de carbono y la percepción social de los servicios ecosistémicos que brinda el bosque de *Abies religiosa* de la cuenca presa Guadalupe, Estado de México



Fuente: Modificado de Ávila-Akerberg y González-Martínez (s/f).

Figura 2. Vegetación, uso de suelo y puntos de muestreo dentro del área de estudio un bosque este se puede clasificar como cerrado (66 a 100 % de cobertura), semiabierto (33-66 %) o abierto (0 a 33 %); con base en ello, 76 % de los sitios muestreados pertenecen a bosque cerrado, 21 % a semiabierto y 2 % a abierto.

Se registraron 3 852 árboles en las parcelas del bosque de *Abies religiosa*, con una densidad de 917 ind/ha; del total, 3 701 individuos pertenecen a la especie *Abies religiosa*, 49 a *Pinus hartwegii*, 49 a *Salix paradoxa*, 16 a *Pinus moctezumae*, 14 a *Pinus sp.*, 7 a *Pinus patula*, 3 a *Arbutus xalapensis*, 3 a *Buddleia cordata*, 3 a *Comarostaphylis discolor*, 3 a *Quercus laurina*, 2 a *Quercus rugosa*, 1 a *Baccharis conferta* y 1 a *Sambucus sp.* El mayor número de individuos se encontraron dentro de las primeras categorías altimétricas (1-10 m) y diamétricas (5-10 cm).

Fitodiversidad

Se evaluó la riqueza de especies en el bosque de *Abies religiosa*, donde se identificaron en promedio 24 especies por cuadrante y se encontró un total de 142, de las cuales se observó que *Acaena elongata*, *Alchemilla procumbens*, *Roldana angulifolia* y *Thuidium delicatulum* correspondían con la cobertura más alta en la mayoría de los levantamientos. Es importante mencionar que *Acaena elongata* y *Alchemilla procumbens* son especies indicadoras de perturbación (Madrigal, 1967 cit. en Nava, 2006: 19), por lo que al ser tan abundantes, con coberturas que llegan hasta 70 y 40 %, respectivamente, se puede concluir que los bosques tienen cierto disturbio.

El levantamiento SIEC-10 presenta menor riqueza (13 especies); en este sitio se registró aprovechamiento de leña y madera, perturbación animal (dada por ganado vacuno) y basura; el área se hallaba a solo 15 m de una terracería, por lo que su cercanía a esta favorece una mayor perturbación antropogénica que puede afectar el desarrollo de las plantas. Por el contrario, el SIEC-13 es el levantamiento que posee mayor riqueza (34 especies); se advirtió muy poca perturbación animal (principalmente por caballos) y basura; esta parcela se ubicaba a 1 000 m de una terracería, por lo que su distancia alejada de un camino puede ser uno de los factores determinantes de su alta riqueza.

Nava (2003: 42) reportó que para el bosque de *Abies religiosa* en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, existe una riqueza de 116 especies. Encina *et al.* (2008) consignaron que el bosque de oyamel de la sierra de Zapalinamé, Coahuila, cuenta con 73 especies. Al comparar la cercanía entre la cuenca del río Magdalena y la CPC, se hallaron valores similares de riqueza, mientras que la diferencia entre la riqueza de la CPC y la de la sierra de Zapalinamé puede deberse a variaciones en el clima, en los rangos altitudinales y en los distintos grupos de suelos.

Almacenamiento de carbono

En cada levantamiento se calculó el almacenamiento de carbono en árboles vivos y muertos en pie, tocones y troncos caídos; posteriormente se sumaron estos valores para obtener el total por levantamiento y hacer una comparación entre este valor y el carbono almacenado solo por árboles vivos. En promedio resultaron en total 9.12 t de carbono por levantamiento (1 000 m²) y 8.52 t de

carbono almacenado por árboles vivos; en el levantamiento SIEC-116 se registró la menor cantidad de carbono almacenado y en el SIEC-122 la mayor cantidad.

Con base en el promedio de carbono almacenado de los 42 levantamientos, se encontró que el contenido total de carbono dado por árboles vivos, muertos en pie, troncos caídos y tocones en una hectárea es de 91.22 t, mientras que el contenido de carbono solamente de los árboles vivos en una hectárea es de 85.24. El bosque de *Abies religiosa* ocupa una extensión de 4 303 ha, por lo que la CPG estaría almacenando un total de 392 519.66 t de carbono, en tanto que los árboles vivos de la CPG almacenan 366 787.72 t, habiendo una diferencia de 25 731.94 t. Por otro lado, se registraron 1 483 árboles con un DAP menor a 5 cm, los cuales forman parte de la regeneración natural del sitio y representan un potencial de captura de carbono muy importante.

Razo *et al.* (2013) calcularon que el bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, almacena 138.69 tC/ha; Ávila-Akerberg (2010) encontró que para el bosque de *Abies religiosa* de la cuenca del río Magdalena se registran en promedio 108 tC/ha, mientras que Nava (2006: 44) reportó para la misma zona 58 tC/ha; las diferencias entre estos resultados se deben a que cada área de estudio posee características particulares, las cuales influyen en tales estimaciones (Ávila-Akerberg, 2010); asimismo, al revisar la metodología de los diversos trabajos, se advierte que los autores utilizan variados coeficientes y ecuaciones.

En general, al comparar la estimación del carbono almacenado en la CPG con los resultados de los investigadores antes mencionados, se observa un valor bajo; esto podría deberse a que, de acuerdo con las estructuras diamétricas y altimétricas, se trata de un bosque joven. Sin embargo, cabe recalcar que estos árboles tienen un mayor potencial de captura de carbono que los grandes y de mayor edad, lo que permitiría que a largo plazo el almacén de carbono fuera mayor y se asemejara más a los resultados ya comentados. Otra razón de haber obtenido un valor menor podría ser la diferencia entre las metodologías empleadas para la estimación del almacén de carbono, por lo que se considera de suma relevancia que estas se estandaricen con el fin de poder hacer comparaciones de resultados y apreciar en qué zonas y bajo qué condiciones un bosque templado almacena más carbono.

Por lo anterior, es importante que el manejo forestal del bosque de *Abies religiosa* de la CPG permita conservar y aumentar su almacenamiento de carbono como servicio ecosistémico. El papel de la vegetación en el ciclo de carbono

global y la interacción entre los habitantes, visitantes, uso de suelo y actividades son factores primordiales que deben tenerse en cuenta al realizar proyectos de conservación de carbono (Bass *et al.*, 2000: 94).

Relación entre datos fitosociológicos y variables ambientales

El CCA (figura 3) exhibe el patrón general de la información fitosociológica y de las variables ambientales. Los puntos verdes representan las parcelas y su información fitosociológica, mientras que las flechas muestran las variables ambientales, su longitud indica el peso del factor, y la dirección enseña la correlación entre los factores; los puntos que se encuentran cercanos unos a otros significan que tienen una similitud en las variables ambientales.

Los *eigenvalues* o autovalores obtenidos para los dos primeros ejes (cuadro 2) sugieren que las diferencias en la cuestión ecológica o de composición en las parcelas son explicadas por la variabilidad ambiental.

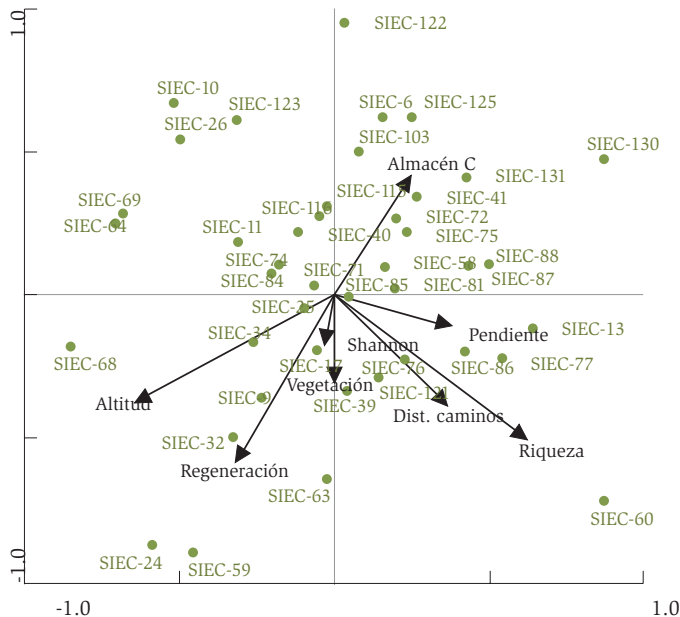


Figura 3. Análisis canónico de correspondencia; variables ambientales vs. datos de composición en parcelas de muestreo.

Cuadro 2. Resultados del análisis canónico de correspondencia

	EJES	
	1	2
Eigenvalues o autovalores	0.15	0.084
Correlaciones especies-ambiente	0.777	0.809
Varianza acumulada (%)		
+ de especies	5.9	9.2
+ de relaciones especies-ambiente	30.4	47.4

Fuente: Elaboración propia por Varo-Rodríguez (2015).

El cca (figura 3) muestra que las variables de altitud, regeneración, riqueza y almacén de carbono son las más importantes. Puede observarse que el almacén de carbono es mayor en altitudes bajas, lo que podría indicar que a estas alturas se encuentran las condiciones ambientales más óptimas para el desarrollo de los árboles. Rzedowski (2006) menciona que la presencia del bosque de *Abies religiosa* está condicionada sobre todo por la alta humedad, por lo cual en la cpg es probable que a estas altitudes (2 800-3 500 msnm) la humedad sea mayor permitiendo así el mejor desarrollo de los árboles. Aunque podría pensarse que al ser altitudes menores hay un acceso más fácil a los pobladores y, por ende, una mayor perturbación, se debe tener en cuenta que este tipo de bosque se presenta desde los 2 800 msnm, y en altitudes menores se encuentra el bosque de encino que actúa como *buffer* limitando la presión antropogénica en el bosque de oyamel.

No se halló una fuerte relación entre perturbación antropogénica (a través de la variable distancia a caminos) y el almacén de carbono; sin embargo, mientras una zona se localice más alejada de los caminos se encuentra una mayor riqueza vegetal, demostrando que la perturbación humana afecta el desarrollo de las plantas.

También se puede advertir que en las zonas de mayor altitud y menor almacén de carbono existe una mayor regeneración; esto podría deberse a que en las zonas más altas el bosque no es tan denso por condiciones naturales, teniendo así espacio y recursos para el establecimiento de nuevos árboles. Una de las especies encontradas en campo es *Thuidium delicatulum*, la cual es uno de los

productos forestales no maderables más usados en la región para los nacimientos en Navidad, así que cuando los habitantes remueven esta capa se promueve la instauración de otras especies vegetales como arbustos y herbáceas que impiden la regeneración de *Abies religiosa*; quizá esto suceda porque al ser zonas de mayor altitud y menor acceso a los habitantes, hay una menor remoción del musgo y por lo tanto una menor competencia por espacio y recursos entre las plántulas del oyamel y otras especies. Sin embargo, es de suma importancia que en futuros estudios se profundice en este tema para entender mejor la relación entre la regeneración y el almacén de carbono, y buscar un manejo que favorezca el crecimiento de los árboles en regeneración.

Cabe apuntar que los resultados encontrados en el cca solo muestran patrones generales que sirven para dar cuenta de la dinámica de las variables entre ellas, por lo que si se requiere explicar con mayor detalle algún patrón, es necesario realizar un análisis más especializado.

Percepción social de servicios ecosistémicos

Se entrevistó a un total de 167 personas (105 mujeres y 62 hombres), entre ellas autoridades, visitantes y habitantes, de los cuales unos son ejidatarios, comuneros o foráneos que llevan algún tiempo viviendo en la zona. La edad promedio es de 39 años y el rango varía entre los 10 y los 92 años. La mayoría de los entrevistados tiene nivel educativo hasta la secundaria, 16 personas no cuentan con escolaridad alguna y 15 realizaron estudios de licenciatura.

La mayoría de los entrevistados reconoció que se hace uso del bosque (113 personas), sin embargo, al efectuar una comparación entre visitantes y habitantes en conjunto con las autoridades, el resultado varía mucho: mientras que 72.7 % de los habitantes y autoridades admite que existe un uso, solo 48.6 % de los visitantes lo hace. Es importante que los habitantes –principales usuarios del bosque– sean capaces de reconocer los beneficios que les brinda el bosque. Es notable que los visitantes, al no vivir cerca de las áreas naturales y no tener un contacto directo con ellas, no distinguen el manejo que se le da al bosque, y aunque no sean usuarios frecuentes de la zona es trascendental que reconozcan la relevancia de las zonas naturales, en este caso, de los bosques templados. En la figura 4 se muestra qué usos fueron identificados, entre los que destacan la tala, la recolección de tierra negra y los campamentos. Es de notar que 54 personas respondieron negativamente a la pregunta ¿Se hace uso del bosque?;

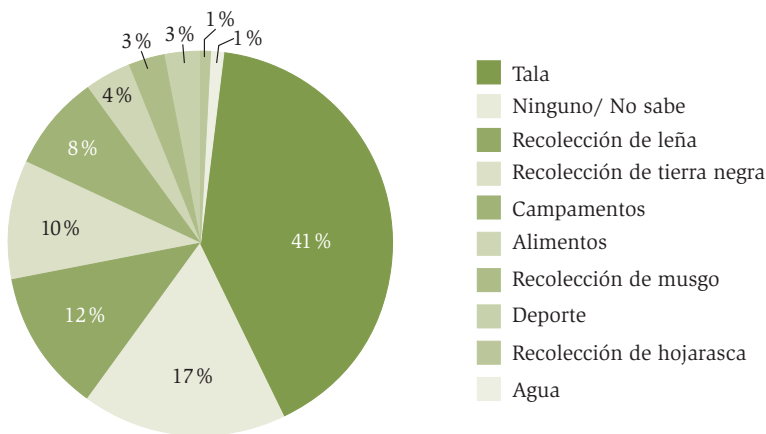


Figura 4. Usos del bosque identificados por los distintos actores sociales

sin embargo, al enseñarles una lista de actividades que se realizan en él y preguntarles cuáles eran llevadas a cabo en la zona, solo 26 contestaron que no se le daba ningún uso o no sabían cuál, lo que indica que varias personas no reconocen que algunas actividades que se efectúan dentro del bosque forman parte de los servicios que este brinda.

Al preguntar ¿Obtienen algún beneficio del bosque?, 97 personas respondieron que sí; entre los beneficios más nombrados se encuentran el oxígeno, el agua y la recolección de leña (figura 5). Vale recalcar que la mayoría de los entrevistados fue capaz de reconocer algún uso del bosque. Pero ante la preocupación por su conservación, 70 personas consideran que no se ven beneficiadas. Sin embargo, si los habitantes pueden percibir estos servicios serán más conscientes de su cuidado y preservación. De acuerdo con Ken-Rodríguez (2012), es necesario integrar múltiples dimensiones sobre el cuidado de las áreas naturales de la región y con ello lograr el bienestar de la población.

La mayoría de las personas (107) desconoce si existe un proyecto para el cuidado del bosque, pero considera el estado de este como regular-malo, en tanto, 36 piensan que es bueno; entre las principales razones del deterioro del bosque están: tala, basura, plagas e incendios. Además, 139 personas opinan que la calidad de la vegetación en los últimos años ha disminuido; en el cuadro 3 se presentan los principales factores que los actores sociales identificaron como

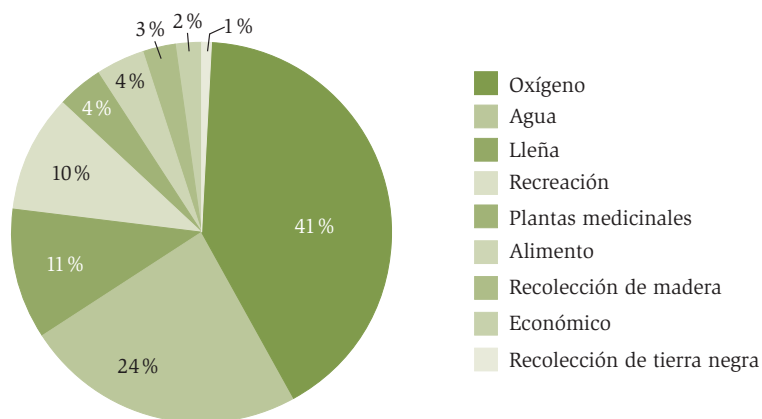


Figura 5. Beneficios del bosque identificados por los distintos actores sociales

causantes del deterioro del bosque (la tala y la basura son los que tienen mayor impacto).

Para favorecer el cuidado del bosque, la mayoría de los entrevistados señaló que es indispensable llevar a cabo programas de reforestación (148 personas); también se identificaron la recolección de basura y la vigilancia del área como

Cuadro 3. Principales factores de deterioro y su importancia relativa de la cuenca presa Guadalupe

FACTOR	IMPACTO*
Tala	3.44
Basura	3.44
Visitantes	2.81
Plagas	2.78
Contaminación del aire	2.73
Extracción de tierra negra	2.69
Asentamientos humanos	2.60
Ganado	2.16
Cacería	2.05
Cultivos	1.96

* Se muestran los promedios en donde 4 representa un alto impacto y 1 ningún impacto.

actividades importantes (113 y 92 personas, respectivamente). Al preguntarles ¿Estarían dispuestos a realizar alguna de estas actividades?, 142 personas respondieron de manera positiva y 130 estarían dispuestas a aportar una cuota para disfrutar de los beneficios del bosque.

Ávila-Akerberg (2010) investigó la percepción acerca del estado del bosque de los tomadores de decisiones en el suelo de conservación de la delegación Magdalena Contreras y también encontró que la mayoría de las personas considera que la calidad de la vegetación ha disminuido, debido a los asentamientos irregulares. Sánchez (2010) efectuó un trabajo sobre la percepción social de los beneficios del monte en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco, y halló que los entrevistados percibían una disminución del monte a causa del cambio de uso de suelo para la conformación de pastizales con fines ganaderos (potreros); asimismo observó que la mayoría de los entrevistados confirmaba tener beneficios del bosque (obtención de madera, leña, alimentos, plantas medicinales, etc.). Aun cuando las razones sean diversas, se advierte que la gente identifica una disminución de la vegetación y su calidad, lo cual coadyuva a la problemática ambiental imperante en el país, aumentando la deforestación e incrementando la emisión de GEI.

Conclusiones

El bosque de *Abies religiosa* de la CPC abarca una superficie de 4 303 ha; estructuralmente es un bosque joven con una alta regeneración. En promedio, el bosque de oyamel está almacenando 91.22 t de carbono por hectárea.

Dado que existe una alta regeneración en la zona, se deben realizar estudios acerca del potencial de captura de carbono del bosque. Para promover el crecimiento de los árboles y aumentar el almacén de carbono es necesario disminuir la presión antropogénica sobre el recurso maderable. Por lo tanto, es fundamental dar a conocer a los usuarios del bosque la importancia de este a través de programas de educación ambiental. Asimismo, se deben implementar programas de manejo forestal que promuevan la conservación de los árboles y su regeneración.

En altitudes menores se encontró un mayor almacén de carbono. Rzedowski (2006) apunta que la presencia del bosque de oyamel está condicionada sobre

todo por una alta humedad, por lo que se considera que deberían llevarse a cabo investigaciones en las que se relacione la humedad con el contenido de carbono para determinar si en estas altitudes es la humedad el factor que está favoreciendo el desarrollo del bosque permitiendo así el aumento del almacenamiento de carbono.

En el bosque de *Abies religiosa* de la CPG, la perturbación antropogénica tiene un mayor impacto sobre la riqueza vegetal, encontrándose que mientras una zona se localice más alejada de los caminos, poseerá más riqueza. En las zonas de mayor altitud hay una regeneración más elevada, lo cual podría deberse a que en estas altitudes el bosque no es tan denso por condiciones naturales, teniendo así espacio y recursos para el establecimiento de nuevos árboles; no obstante, es muy importante que en futuros estudios se profundice en este tema para entender la relación opuesta que existe entre la regeneración y el almacén de carbono.

Hay una gran diferencia entre la percepción de los habitantes y autoridades y la de los visitantes acerca del uso del bosque: los primeros son capaces de determinar que existen diversos usos, mientras los segundos tienen más dificultades en hacerlo; los principales usos mencionados son la tala, la recolección de tierra negra y los campamentos. En cuanto a que si reconocían algún beneficio personal dado por el bosque, disminuyó el número de personas que contestaron positivamente, y entre los beneficios más identificados estuvieron el oxígeno, el agua y la recolección de leña.

La mayoría de las personas desconoce si existe un proyecto para el cuidado del bosque y considera el estado de este como regular-malo; entre las principales razones se encuentran la tala, la basura, las plagas y los incendios.

Puesto que los usuarios del bosque identificaron otros *se* como tala, recolección de leña, tierra negra, musgo, hojarasca, agua y alimentos (servicios de provisión), además de campamentos y deporte (servicios culturales), al realizar programas de manejo forestal se deberá efectuar un balance entre todos los *se* presentes. También se debe tener en cuenta la opinión de los usuarios con el fin de mejorar los futuros resultados.

Fuentes consultadas

- Acosta, M., H. Vargas, M. Velázquez y B. Etchevers (2002). “Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México”. *Agrociencia*, 6, 725-736.
- Ávila-Akerberg, V. (2010). *Forest Quality in the Southwest of Mexico City. Assessment towards Ecological Restoration of Ecosystem Services*. Friburgo, Alemania: Culterra (Band 56).
- Ávila-Akerberg, V. y T. González-Martínez (s/f). “Biodiversidad y servicios ambientales en la cuenca presa Guadalupe”. Enviado a revista *Investigación y Ciencia* en 2015.
- Bass, S., O. Dubois, P. Moura, M. Pinard, R. Tipper y C. Wilson C. (2000). *Rural Livelihoods and Carbon Management*. Londres: International Institute for Environment and Development (IIED Natural Resource Issues Paper No. 1).
- Cairns, M., S. Brown, E. Helmer y G. Baumgardner (1997). “Root biomass allocation in the world’s upland forest”. *Oecologia*, 111, 1-11.
- Castillo, A., V. Corral, E. González, L. Paré, M. Paz, J. Reyes y M. Schteingart (2009). “Conservación y sociedad”, en Conabio. *Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 761-801.
- CCPG (s/f). *Cuenca presa Guadalupe* [en línea]. México: Comisión de Cuenca Presa Guadalupe. Disponible en: <http://cuencapresaguadalupe.org/> [2014, 18 de febrero].
- Challenger, A. y R. Dirzo (2009). “Factores de cambio y estado de la biodiversidad”, en Conabio. *Capital natural de México, Vol II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 37-73.
- Conafor (2010). *Visión de México sobre REDD+ . Hacia una estrategia nacional* [en línea]. México: Comisión Nacional Forestal. Disponible en: http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/2521Visi%C3%B3n%20de%20M%C3%A9xico%20para%20REDD_.pdf [2015, 5 de agosto].
- Conafor (2014). *Abies religiosa (Kunth Schlttdl. et Cham.)* [en línea]. México: Comisión Nacional Forestal (Paquetes Tecnológicos). Disponible en: <http://>

- www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/873Abies%20religiosa.pdf [2014, 28 de enero].
- Conagua y ccpc (2008). *Programa Hídrico de Gran Visión de la Cuenca Presa Guadalupe* [en línea]. México: Comisión Nacional del Agua/Comisión de Cuenca Presa Guadalupe. Disponible en: <http://cuencapresaguadalupe.org/documentacion/programa-h%C3%ADdrico.html> [2014, 19 de febrero].
- Daily, G., S. Alexander, P. Erfich, L. Goldner, J. Lubchenco, P. Matson, H. Mooney, S. Postel, S. Shneider, D. Tilman y G. Woodwell (1997). "Ecosystems services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems". *Issues in Ecology*, 2, 1-16.
- De la Paz-Pérez, C. (2000). "Relación estructura propiedades físico-mecánicas de la madera de algunas especies de encinos (*Quercus*) mexicanos". Tesis doctoral. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Facultad de Ciencias.
- Durand, L. (2000). "La colonización en la sierra de Santa Martha: Perspectivas ambientales y deforestación en una región de Veracruz". Tesis de doctorado. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Antropológicas.
- Encina, J., F. Encina, E. Mata y J. Valdés (2008). "Aspectos estructurales, composición florística y caracterización ecológica del bosque de oyamel de la sierra de Zapalinamé, Coahuila, México". *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 83, 13-24.
- Espinosa, M. (2005). "Estimación del contenido y captura de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca alta del río Magdalena, D. F." Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- FAO (2015). *Evaluación de la FAO sobre los bosques y las reservas de carbono: 2001-2015* [en línea]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <http://www.fao.org/climatechange/micca/ghg/es/> [2015, 7 de mayo].
- Guevara, S. y G. Halffter (2007). "Estrategias para la conservación de la diversidad biológica en áreas protegidas de designación internacional: la síntesis", en G. Halffter, S. Guevara y A. Melik, A. (eds.). *Hacia una cultura de la conservación de la diversidad biológica, Vol. 6. Monogra-*

- fiás Tercer Milenio*. Zaragoza: Sociedad Entomológica Aragonesa, 9-18.
- INIFAP (2003). *Monografías sobre diferentes coníferas y latifoliadas de clima templado*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- IPCC (1994). *The Supplementary Report to the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Scientific Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 996 pp.
- Jaramillo, V. (2004). “El ciclo global del carbono”, en J. Martínez y A. Fernández (comps.). *Cambio climático: una visión desde México*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología, 77-85.
- Ken-Rodríguez, C. A. (2012). “El desarrollo sostenible y regional en Othón P. Blanco, Quintana Roo y sus perspectivas para el desarrollo local”, en J. G. Chan-Quijano, R. Martínez-Yáñez y A. Espinosa-Tenorio (eds.). *Manejo sostenible de los recursos naturales: conservación y experiencias*. San Cristóbal de Las Casas: El Colegio de la Frontera Sur/Seminario en Manejo de Recursos Naturales, 101-123.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment). (2003). *Ecosystem and their Services*. Washington, D. C.: Island Press.
- Maass, M. (2007). *Principios generales sobre manejo de ecosistemas* [en línea]. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/395/maass.html> [2015, 18 de noviembre].
- Macías, F. y L. Rodríguez (2003). *Primera aproximación al cálculo de los sumideros de Carbono en Sistemas Forestales y Suelos de Galicia, de acuerdo con el Protocolo de Kyoto*. Santiago de Compostela: Servicio de Publicaciones da Universidade de Santiago de Compostela.
- Manson, R., V. Hernández, S. Gallina y K. Mehlreter (eds.). (2008). *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación*. México: Instituto de Ecología, A. C./Secretaría de Medio Ambiente y

- Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología, 348 pp.
- Manzanilla, H. (1974). *Investigaciones epidométricas y silvícolas en bosques mexicanos de Abies religiosa*. México: Dirección General de Información y Relaciones Públicas de la SAG.
- Mostacedo, B. y T. Fredericksen (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en biología vegetal*. Santa Cruz, Bolivia: Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (Bolfor).
- Nava, M. (2003). “Los bosques de la cuenca alta del río Magdalena, D. F., México. Un estudio de vegetación y fitodiversidad”. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Nava, M. (2006). “Carbono almacenado como servicio ecosistémico y criterios de restauración, en el bosque de *Abies religiosa* de la cuenca del río Magdalena, D. F.”. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ordóñez, J. (1999). *Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán*. México: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca-Instituto Nacional de Ecología.
- Ordóñez, J., H. de Jong y O. Maser (2001). “Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán”. *Madera y Bosques*, 7 (2), 27-47.
- PMC (s/f). *Programa Mexicano del Carbono* [en línea]. Disponible en: <http://pmcarbono.org/pmc/> [2015, 3 de septiembre].
- Poder Ejecutivo del Estado de México (1980). “Decreto del Ejecutivo del Estado por el que se crea el Parque Ecológico Turístico y Recreativo Zempoala-La Bufa, que se denominará Parque Otomí Mexica del Estado de México” [en línea]. *Gaceta del Gobierno*. Disponible en: http://portal2.edomex.gob.mx/cepanaf/areas_naturales_protegidas/decretos/groups/public/documents/edomex_archivo/cepanaf_pdf_otomi_mexica.pdf [2014, 18 de febrero].
- Poder Ejecutivo del Estado de México (2004). “Declaratoria del Ejecutivo del Estado por la que se establece el área natural protegida con la categoría de Parque Estatal denominado ‘Santuario del Agua y Forestal presa Guadalupe’, ubicada en los Municipios de Cuautitlán Izcalli y Nicolás

- Romero, Estado de México” [en línea]. *Gaceta del Gobierno*. Disponible en: <http://www.edomex.gob.mx/legistelfon/doc/pdf/gct/2004/oct133.pdf> [2014, 19 de febrero].
- Razo, R., A. Gordillo, R. Rodríguez, C. Maycotte y O. Acevedo (2013). “Escenarios de carbono para el bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México”. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9 (1), 17-21.
- Rivas, D. (2006). *Sistemas de producción forestal. Unidad II. Evaluación de los recursos forestales* [en línea]. Texcoco: Universidad Autónoma Chapingo-Preparatoria Agrícola-Área de Agronomía. Disponible en: http://www.rivasdaniel.com/Articulos/Unidad_II_Evaluacion.pdf [2015, 11 de mayo]
- Rojas, F. (2008). “Consideraciones para el balance de carbono: Evaluación del movimiento de biomasa en el Parque Nacional Malinche”. Tesis de maestría. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Facultad de Ciencias.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* [en línea]. 1a. ed. digital. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf [2015, 20 de agosto].
- Sánchez, A., L. López y D. Granados (2006). “Composición y patrones de distribución geográfica de la flora del bosque de oyamel del Cerro Tlálac, México”. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 79, 67-78.
- Sánchez, M. (2010). “Los beneficios del monte: percepción social y consumo de los servicios ecosistémicos derivados de la biodiversidad vegetal en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco”. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Santillán, P. (1991). “Silvicultura de las coníferas de la región central”. Tesis de licenciatura. Texcoco: Universidad Autónoma Chapingo-División de Ciencias Forestales.
- Semarnat (2014). *Versión de Difusión del Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC 2014-2018)* [en línea]. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en:

http://www.cenapred.unam.mx/es/documentosWeb/Avisos/cambio_climatico.pdf [2015, 12 de abril].

- Shvidenko, A., C. Barber, R. Persson, P. González y R. Hassan (2005). "Forest and woodland systems", en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.). *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends. Vol. 1. Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Washington, D. C.: Island Press, 567614.
- Ter Braak, C. (1986). "Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis". *Ecology*, 67, 1167-1179.
- Toledo, V. (2000). "Ecología, globalización y sustentabilidad: la filosofía política del nuevo milenio". *Configuraciones*, 1, 43-49.
- Zazo, J. y J. Jiménez (2000). *Apuntes y notas de los caracteres culturales y otras características de interés de algunas frondosas forestales españolas*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid-Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal.

