

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
México

2009

ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN EL BOSQUE DE PINO-ENCINO EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA EL CIELO, TAMAULIPAS, MÉXICO

Rodrigo Rodríguez Laguna, Javier Jiménez Pérez, Óscar A. Aguirre Calderón, Eduardo J.
Treviño Garza y Ramón Razo Zárate

Ra Ximhai, septiembre-diciembre, año/Vol. 5, Número 3

Universidad Autónoma Indígena de México

Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 317-327



e-revist@s



ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN EL BOSQUE DE PINO-ENCINO EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA EL CIELO, TAMAULIPAS, MÉXICO

ESTIMATION OF CARBON STORAGE IN FOREST PINE-OAK AT BIOSPHERE RESERVE EL CIELO, TAMAULIPAS, MEXICO

Rodrigo Rodríguez-Laguna¹; Javier Jiménez-Pérez²; Óscar A. Aguirre-Calderón²; Eduardo J. Treviño-Garza² y Ramón Razo-Zárate¹

¹Profesores-Investigadores del Instituto de Ciencias Agropecuarias-UAEH. Av. Universidad Km 1 Rancho Universitario, Tulancingo, Hidalgo. C. P. 43600. Correo electrónico: rodris71@yahoo.com. ²Profesores-Investigadores de la Facultad de Ciencias Forestales-UANL. Carr. Nacional km 145 Apdo. Postal 41, C. P. 67700, Linares, N. L. Correo electrónico: jjimenez@fcf.uanl.mx

RESUMEN

Las actividades humanas están produciendo un exceso de gases de efecto invernadero que están potencialmente calentando el clima de la tierra. En tanto que los ecosistemas forestales están almacenando el C de la atmósfera en la biomasa y el suelo. En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo estimar y conocer la distribución del C almacenado en un bosque de pino-encino que se encuentra resguardado dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Para ello, se midieron en los árboles la altura total, diámetro normal, altura al inicio de copa, y con estos datos se calculó el volumen, estimándose la biomasa con el modelo de la forma $\beta = a_0 * D^{a_1}$ dicho valor se multiplicó por el porcentaje de C obtenido con el equipo Solids TOC Analyzer para cada especie obteniendo la cantidad de C almacenado por árbol, hojarasca y necromasa. Con el modelo se obtuvo para cada especie un coeficiente de determinación (R^2) superior al 0.95. Sin embargo, se estimaron 219.3 t ha⁻¹ de biomasa. Así mismo, se estimó un total de 110 t C ha⁻¹ almacenada de la forma siguiente: en fustes, ramas y hojas se encuentra el 75.3%, en raíces el 15%, en hojarasca el 9% y en los renuevos y la necromasa se encuentra el 0.4 y 0.3% respectivamente. De esta manera el bosque de pino-encino de la Reserva de la Biosfera El Cielo contribuye a mitigar el calentamiento global.

Palabras clave: necromasa, hojarasca, CO₂, áreas naturales protegidas.

SUMMARY

The human activities are producing an excess of greenhouse gases that are warming potentially the climate of the earth. While forest ecosystems are storing the C in the biomass and soil. In this respect, the present study had as objective to estimate and to know the distribution of the C stored in a forest of pine-oak that is protected within the biosphere reserve El Cielo, Tamaulipas, Mexico. To this end, were measured the total height, normal diameter, height to the beginning of the canopy, and with this information was calculated the volume, the biomass was estimated by the model $\beta = a_0 * D^{a_1}$ this value was multiplied by the percentage of C obtained with the equipment Solids TOC Analyzer for each specie obtaining the quantity of C stored by tree, litter and rotten wood. Using this model was

obtained for each specie a determination coefficient (R^2) upper to 0.95. Nevertheless, 219.3 t ha⁻¹ were estimated of biomass. Also, a total of 110 t C ha⁻¹ was estimated and there are stored as follows: in stems, branches and leaves are the 75.3%, in roots 15%, in the litter 9% and in the sprouts and rotten wood are the 0.4 and 0.3% respectively. Thus the forest of pine-oak of the biosphere reserve El Cielo contributes to mitigate the global warming.

Key Words: rotten wood, litter, CO₂, natural protected areas.

INTRODUCCIÓN

En México el manejo de las áreas naturales protegidas y los bosques naturales son una de las mejores opciones para la captación de carbono (C), ofreciendo simultáneamente una alternativa para incrementar la producción, tanto maderable como no maderable. Así mismo, se identifican dos opciones básicas para conservar y almacenar C por el sector forestal: a) conservación, que consiste en evitar las emisiones de C preservando las áreas naturales protegidas, fomentando el manejo sostenible de bosques naturales y el uso renovable de la leña, y mediante la reducción de incendios; y b) reforestación, dedicada a almacenar y recuperar áreas degradadas mediante acciones como la protección de cuencas, la reforestación urbana, la restauración para fines de subsistencia (leña), el desarrollo de plantaciones comerciales para madera, pulpa para papel, hule, etc., así como de las plantaciones energéticas (producción de leña y generación de electricidad) y de los sistemas agroforestales (Maser, 1995).

Los ecosistemas forestales contienen grandes cantidades de C almacenado en biomasa viva, muerta y en el suelo (Post *et al.*, 1982; Ordóñez y Maser, 2001). Sin embargo, en regiones

tropicales y templadas hay un proceso acelerado de conversión de ecosistemas forestales con alta cantidad de biomasa a ecosistemas con bajos niveles, como vegetación secundaria, áreas cultivadas y pastizales (FAO, 1993). Las estimaciones del total del bióxido de carbono (CO₂) emitido a partir de estas reducciones en biomasa y procesos de deforestación varían entre 8 y 44% del total de emisiones antropogénicas de CO₂ (Cook *et al.*, 1990; Schimel, 1995).

Ante las posibles repercusiones del cambio atmosférico y climático, una gran atención se le ha prestado a la vegetación, y muy especialmente a las masas forestales, como potencial de sumidero del exceso de CO₂ emitido por la actividad humana a la atmósfera (Ordóñez, 1999).

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

La determinación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar los montos de C por unidad de superficie y tipo de bosques, además de otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes (Snowdon *et al.*, 2001; Montero *et al.*, 2004). Esta información es de especial importancia en la actualidad, debido a la necesidad de conocer los montos de C capturado por los bosques naturales y plantaciones. La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar C en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Schulze *et al.*, 2000). La determinación de esta capacidad constituye un reto cuando se trata de evaluar el potencial de sistemas forestales, naturales, alterados o inducidos por el hombre. Si bien en México existen algunos trabajos sobre secuestro de C en diferentes ecosistemas (Olguín, 2001), en los ecosistemas del estado de Tamaulipas no

se cuenta con información relativa a este tópico; por tanto, es necesario iniciar trabajos tendientes a la medición de biomasa y C almacenado en la misma; para que las comunidades locales tengan un ingreso económico. En base a lo expuesto se plantean como objetivos el determinar las condiciones dasométricas del bosque, seleccionar un modelo matemático para estimar biomasa aérea individual y estimar el C almacenado en los diferentes componentes del bosque de pino-encino dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Se ubica dentro de los paralelos 22° 55' 30" y 23° 25' 50" Norte y los meridianos 99° 05' 50" y 99° 26' 30" Oeste (Figura 1). El bosque de pino-encino se encuentra principalmente en las comunidades 20 de Abril, municipio de Jaumave; El Encino, La Libertad y una propiedad del gobierno del estado de Tamaulipas, localizadas en el municipio de Llera; las localidades de Manantiales y Coahuila, se encuentran en el municipio de Ocampo; Joya de Manantiales y Alta Cima están en el municipio de Gómez Farias, todos ellos pertenecen al estado de Tamaulipas. Las comunidades antes citadas suman una superficie de 13 272.65 hectáreas de bosque de pino-encino (Gobierno del Estado de Tamaulipas y SEDUE, 2003).

Al bosque de pino-encino también es conocido como bosque templado en ésta entidad y se desarrolla desde 1400 hasta por arriba de los 1800 msnm aunque sus límites altitudinales varían mucho, encontrándose siempre a una altitud superior a la del bosque mesófilo de montaña, ocupando ambos una gran extensión en la Reserva de la Biosfera El Cielo (Martín, 1958). La precipitación anual se encuentra entre 500 y 800 milímetros de lluvia (Sánchez *et al.*, 2005). Las especies arbóreas típicas son *Pinus montezumae*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus*, *Quercus germana*, *Q. xalapensis*, *Q. rysophylla* y *Juniperus flaccida*; y otras de menor porte como *Ternstroemia sylvatica*, *Prunus serotina*, *Wimmerica concolor*.



Figura 1. Ubicación de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México.

Diseño de muestreo

Por tratarse de un área natural protegida, se utilizó un diseño de muestreo dirigido, se levantaron sitios de muestreo de 1000 m² (20 x 50 m) dividido en cuatro cuadrantes. En el cuadrante I, se midió en su totalidad los árboles, arbustos y la regeneración de árboles y arbustos. En los cuadrantes II, III y IV se midieron únicamente los individuos mayores de 5 cm de diámetro normal.

Las variables que se midieron para cada individuo fueron la altura total y el diámetro normal. En cada sitio se pesó la hojarasca y la necromasa, para la hojarasca se utilizaron tres parcelas de 1 m² dentro de los cuadrantes II, III, IV, formados previamente, se pesó toda la biomasa de hojas, ramillas, estróbilos y ramas de hasta cinco centímetros de diámetro. En la medición de la materia muerta o necromasa se utilizó una parcela de 25 m² ubicada en el cuadrante I, pesándose todo el material muerto sobre el suelo con un diámetro mayor de 5 cm (Figura 2).

Selección del sitio de muestreo

Los reglamentos dentro de una área natural protegida son restrictivos y más cuando implica derribar un árbol dentro de dicha área, al seleccionar los sitios de muestreo en campo se consideró que cada sitio fuera representativo del lugar además de las características siguientes: a) sitio conservado sin vegetación indicadora de perturbación, b) con diversidad de especies, c) con individuos de diferente diámetro, d) especies características del tipo de vegetación y, e) con

condiciones de seguridad personal para realizar la medición.

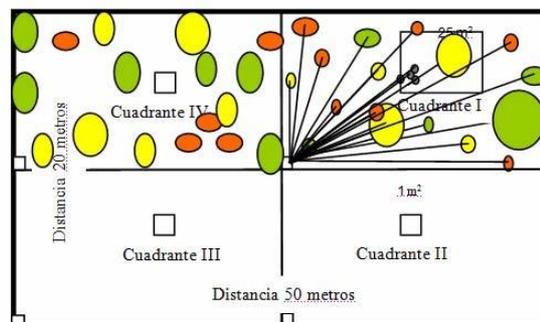


Figura 2. Representación de un sitio de muestreo en campo.

Selección de árboles para medir C

Con el propósito de hacer el menor daño a la vegetación de este ecosistema y respetando las restricciones del reglamento para una área natural protegida, se tomaron cinco individuos al azar por especie, que estuvieran dentro de los sitios de muestreo, se tomó una pequeña muestra de madera en el fuste; en especies latifoliadas la muestra de madera fue tomada a la altura de 30 centímetros de la base, en especies de coníferas se tomaron las muestras a 1.3 metros de altura con el taladro de pressler. A las muestras de madera, hojarasca y necromasa, se les tomó el peso húmedo en campo y posteriormente fueron llevadas al laboratorio de la Facultad de Ciencias Forestales-UANL en Linares, Nuevo León. A estas muestras de madera se les determinó el volumen mediante el método del xilómetro, posteriormente todas las muestras se secaron en una estufa de flujo de aire a una temperatura de 105 °C hasta alcanzar el peso constante (peso seco). El peso seco de la muestra de madera se dividió entre su volumen húmedo obteniendo la densidad básica (volumen en cm³ y densidad en g cm⁻³). Para las muestras de hojarasca y necromasa se obtuvo la relación peso seco/peso húmedo, esta relación se multiplicó por el peso húmedo total de cada parcela para obtener la biomasa de hojarasca y necromasa. Todas las muestras se mantuvieron plenamente identificadas durante todo el proceso.

Dado que no fue posible derribar el árbol para ser pesado en cada uno de sus componentes, se

procedió a calcular el volumen por árbol por especie, utilizando datos del coeficiente de forma que reporta la Memoria del Inventario Forestal del estado de Hidalgo (1985) para especies de bosque templado, se agregó el 35% del volumen fustal obtenido (que corresponde a brazuelos y ramas; de dicho valor el 5% se considera como desperdicio que son el tocón, hojas y ramas menores de 5 cm de diámetro). El volumen individual por especie se multiplicó por la densidad básica respectiva de cada especie obteniendo el peso de biomasa. Para algunas especies presentes en el área de estudio se utilizó la densidad básica reportada por Tuset y Durán (1979).

Con los datos obtenidos de biomasa individual por especie, se procedió a desarrollar funciones de regresión de biomasa, utilizando el paquete estadístico de cómputo (Statistica versión 6.0). Se probaron ocho modelos matemáticos (Cuadro 1), que han sido ocupados frecuentemente (Prodan *et al.*, 1997; Ter-Mikaelian y Korzukhin, 1997; Acosta, 2003), de los cuales se selecciono el modelo que presentara el mejor ajuste en los criterios de bondad (R^2 y valor de F). Para el presente estudio el modelo que mejor resultados mostró fue el modelo no lineal de la forma $\beta = a_0 * DN^{a_1}$ (Potencial), donde β es la biomasa aérea del árbol en kilogramos, DN diámetro normal en centímetros, a_0 y a_1 son los parámetros que se estimaron por el método de mínimos cuadrados.

Cuadro 1. Ecuaciones lineales y no lineales para estimar biomasa de árboles individuales en especies de un bosque de pino-encino en Tamaulipas.

Modelo	Ecuación
Coficiente mórfo constante	$\beta = a_0 * D^2 h$
Variable combinada	$\beta = a_0 + a_1 D^2 h$
Variable combinada generalizada	$\beta = a_0 + a_1 D^2 + a_2 h + a_3 D^2 h$
Australiana	$\beta = a_0 + a_1 D + a_2 h + a_3 D^2 h$
Naslund	$\beta = a_0 + a_1 D^2 h + a_2 h + a_3 Dh^2$
Takata	$\beta = D^2 * h / (a_0 + a_1 D)$
Meyer modificada	$\beta = a_0 + a_1 D + a_2 Dh + a_3 D^2 h$
Potencial	$\beta = a_0 * D^{a_1}$

β biomasa (kg); D diámetro normal del árbol (cm); h altura de árbol (m); a_0, a_1, a_2, a_3 parámetros de estimación.

Posteriormente las muestras de madera, hojarasca y necromasa se molieron con el “Pulverisette 2” hasta alcanzar un tamaño en las partículas menor de 10 micras, se tuvo el cuidado de evitar contaminación entre cada muestra molida. Antes de analizar las muestras se pusieron dentro de la estufa de secado de 15 a 20 minutos a una temperatura entre 70 y 75 °C para quitar la humedad absorbida del ambiente, después se procedió a ser analizadas con el equipo de Solids TOC Analyzer. El funcionamiento de este equipo para medir la concentración de C total consiste depositar una muestra de 30 miligramos dentro de una copa de cuarzo que sube al horno de combustión a temperaturas mayores de 900 °C, con una atmósfera de oxígeno al 99.9% de pureza, el C presente en las muestras es convertido a CO₂, todos los gases liberados pasan a una cámara con rayos infrarrojos que al cruzar por ella son detectadas y contabilizadas únicamente las partículas de CO₂, tiene un tiempo de detección de las partículas de CO₂ de 6 minutos, usando la tecnología NDIR detector. Los resultados se presentan en porcentaje de C que contiene la muestra. Se obtuvo un promedio de los cinco árboles muestreados por especie en porcentaje de concentración de C, de igual manera fue para la hojarasca y necromasa. Los resultados del equipo son confiables al obtener una calibración de $R^2 = 0.9990$ en el equipo, dichos resultados son recomendados por Dennis *et al.*, (2001), quienes son los responsables de la metodología y calibración del equipo Solids TOC Analyzer.

Con los datos de biomasa por individuo se multiplicó por la concentración de C que contiene cada especie obteniendo el C total almacenado en la parte aérea, se agregó el C estimado para la parte raíz.

El determinar la biomasa bajo el suelo, o biomasa radicular, es un proceso muy costoso, sin embargo, para tener mejores estimaciones de C total por hectárea, recurrimos a la literatura para estimar la biomasa radicular en este ecosistema. MacDicken (1997), obtuvo un 15% de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea en bosques de Chile, valores mayores obtuvo Cairns *et al.*, (1997), para distintos lugares del mundo, teniendo a razón de raíz/tallo

entre 0.20 y 0.30, es decir 20 a 30% de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea (fustes, ramas y hojas). Se consideró para este trabajo el valor de 20% de biomasa radicular respecto de la biomasa aérea obtenida.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Características dasométricas

El estado natural del bosque de pino-encino en la Reserva de la Biosfera El Cielo, muestra un bosque de selección donde la mayoría de los árboles se presentan en las primeras categorías y van disminuyendo cuando alcanzan categorías comerciales (Figura 3). Ésta característica define al bosque como un ecosistema en fase de alto dinamismo, al tener una cantidad promedio de 420 individuos por hectárea en la categoría diamétrica de cinco y más de 1600 renuevos por hectárea con diámetros menores de 2.5 cm en la base del tallo de las especies arbóreas y arbustivas; a pesar de que el bosque no tiene un cobertura densa en sus copas, éste número de renuevos es considerable para que se mantenga el ecosistema, aunque, durante el recorrido se constató visualmente el deterioro que causan al renuevo el ganado bovino y equino, provocando que el ecosistema se recupere lentamente, lo anterior se sustenta con lo que se menciona en la Memoria del inventario forestal del estado de Hidalgo, (1985) que un bosque de pino-encino que esta bajo manejo forestal, debe tener un mínimo 3000 plantas por hectárea debidamente distribuidas para considerarse como una regeneración natural adecuada.

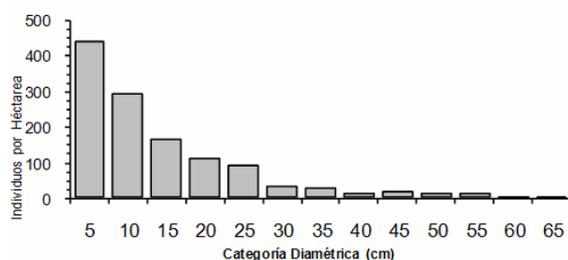


Figura 3. Número de individuos por hectárea por categoría diamétrica en un bosque de pino-encino dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas.

Las especies que se presentaron con mayor frecuencia fueron *J. flaccida*, *P. teocote* y *P. pseudostrobus* con 284, 232 y 231 ind ha⁻¹ respectivamente, para *J. flaccida* más del 46% de sus individuos están en la categoría diamétrica de cinco.

Bajo el supuesto que los bosques con alta tasa de crecimiento y desarrollo hacen más efectivo el proceso de la fotosíntesis al capturar el CO₂ de la atmósfera y fijándolo como C en sus componentes (fuste, ramas, hojas, corteza, raíces) además, liberando oxígeno hacia la atmósfera (Tipper, 1998; Ordóñez, 1999; Husch, 2001; Valenzuela, 2001), el bosque bajo estudio juega un papel muy importante en la captura de C de la atmósfera ya que tiene más del 90% de los individuos por hectárea en las categorías de 5 hasta 25 cm, aunque la cifra se reduce considerablemente en las categorías diamétricas de 30 en adelante con menos del 10% de ind ha⁻¹. Se debe mencionar que hace aproximadamente 35 años se presentó una tala indiscriminada de árboles en la región, también ocurrió un incendio forestal que acabó con casi toda la vegetación en la parte templada de la Reserva de la Biosfera “El Cielo” (Lof, 2005).

Biomasa en los árboles

Después de la determinación del volumen se inició el proceso matemático para calcular la biomasa correspondiente a cada árbol por especie. De los modelos matemáticos probados, se seleccionó el modelo no lineal de la forma $\beta = a_0 * DN^{a1}$ (Potencial) al presentar los mayores criterios de bondad de ajuste (R² y valor de F) para cada especie. Se aplicó el modelo potencial para cada una de las especies presentes en el bosque de pino-encino obteniendo coeficientes de determinación por arriba de 0.95, indicando una alta confiabilidad del modelo.

El modelo matemático no lineal aplicado a las especies del bosque de pino-encino arrojó en los parámetros de la ordenada al origen y la pendiente de la línea de regresión diferencias significativas (P<0.05) excepto en la ordenada al origen del *Q. germana*, tuvo un error estándar alto (0.728), para la estimación de biomasa por especie. Sin embargo, los modelos generados son aplicables estrictamente a las especies

consideradas en este estudio, además, de contemplar que el volumen fue estimado, se tiene la ventaja de poder estimar la biomasa de manera confiable y rápida, al sustituir el diámetro normal de los árboles en el modelo generado para cada especie de la forma $\beta = a_0 * DN^{a_1}$.

En las ecuaciones de regresión generadas para cada especie, se encontró que el género *Pinus* obtuvo los coeficientes de determinación (R^2) más altos 0.99 excepto *P. patula* con 0.98. Asimismo, el R^2 para el resto de las especies presentes en el bosque de pino-encino fue superior al 0.95 (Cuadro 2). Aunque, la tendencia de los valores de biomasa aérea con respecto al diámetro normal de los árboles fue similar para las especies, se encontró una variación en el valor estimado de la ordenada al origen (a_0) de 0.010702 hasta 1.316914 entre las especies. Mientras que el valor estimado de la pendiente de la regresión (a_1) varió de 1.710782 hasta 3.050818 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Coeficiente de determinación (R^2), valor de F y parámetros de la ordenada al origen (a_0) y la pendiente de la línea de regresión (a_1) para estimar biomasa en árboles individuales por especie en un bosque de pino-encino en El Cielo.

Especie	N	R^2	F	Parámetros	
				a_0	a_1
<i>C. pringlei</i>	8	0.99	1342.5	1.169348	1.698004
<i>J. flaccida</i>	256	0.97	4753.6	0.209142	2.123976
<i>P. montezumae</i>	19	0.99	731.5	1.304540	1.730990
<i>P. patula</i>	111	0.98	2669.7	0.407073	2.026167
<i>P. pseudostrobus</i>	208	0.99	8534.3	0.128495	2.364444
<i>P. teocote</i>	209	0.99	10781.6	0.032495	2.766579
<i>Q. germana</i>	28	0.95	237.2	0.892617	1.846973
<i>Q. rysophylla</i>	25	0.96	273.9	0.970526	1.837327
<i>Q. salapensis</i>	33	0.98	632.6	0.766406	1.938435
<i>T. sylvatica</i>	15	0.99	1108.8	0.132193	2.495677
<i>W. concolor</i>	24	0.97	385.7	0.346847	1.990595
<i>Quercus sp.</i>	57	0.97	1089.2	0.010702	3.050818
Otras sp.	91	0.96	1140.7	1.316914	1.710782

Otros estudios han utilizado la misma ecuación obteniendo resultados satisfactorios como: Acosta *et al.*, (2002), presentó una R^2 mayor de 0.97 en todas las especies forestales nativas del bosque mesofilo de montaña en la sierra norte de Oaxaca. Rodríguez *et al.*, (2006), empleando el mismo modelo encontró una R^2 de 0.95 para la mayoría de las especies arbóreas presentes en el

bosque mesofilo de montaña en la Reserva de la Biosfera el Cielo. En otro estudio los resultados fueron menos satisfactorios, Geron y Ruark (1988), calcularon una R^2 de sólo 0.62 al utilizar el diámetro normal como variable predictora de la biomasa foliar en *Pinus radiata*. En ese mismo estudio la R^2 aumentó a 0.94 al emplear el diámetro del tronco medido a la base de la copa.

Empleando el modelo potencial se estimaron para el bosque de pino-encino más de 165 toneladas por hectárea de biomasa, almacenada en los fustes, ramas y hojas de los árboles. El género *Pinus* contribuye con la mayor parte de ésta biomasa, acumulando más del 64% de la biomasa total en las cuatro especies presentes. Mientras que el género *Quercus* guarda en sus fustes, ramas y hojas el 29% de la biomasa total. La suma de estos dos géneros almacena casi el total de la biomasa aérea presente en el bosque de pino-encino (93%).

Otros estudios demuestran tener mayor cantidad de biomasa aérea por hectárea, como es el caso de Valenzuela (2001), sostiene que en bosques naturales maduros de *Abies religiosas* en el sur del Distrito Federal se almacenan más de 415.9 ton/ha de biomasa. Montero y colaboradores (2004) para bosques de pino encino en España reportan 255.8 ton/ha de biomasa. El valor de biomasa aérea obtenida se debe a que la gran parte de los individuos se encuentran en categorías diamétricas menores a 25.

En la figura 4 se muestra la curva de ajuste con un coeficiente de determinación de 0.99 para *P. teocote* y un R^2 para *Q. germana* de 0.95. Éstas especies tuvieron el mayor y menor valor de F respectivamente. Del género *Pinus*, el *P. teocote* almacena más de 41.5 ton/ha de biomasa. Mientras que en el género *Quercus* la especie que más biomasa almacena es *Q. germana* con más de 17.3 ton/ha que corresponden al 10.5% del total de la biomasa presente en el bosque de pino-encino.

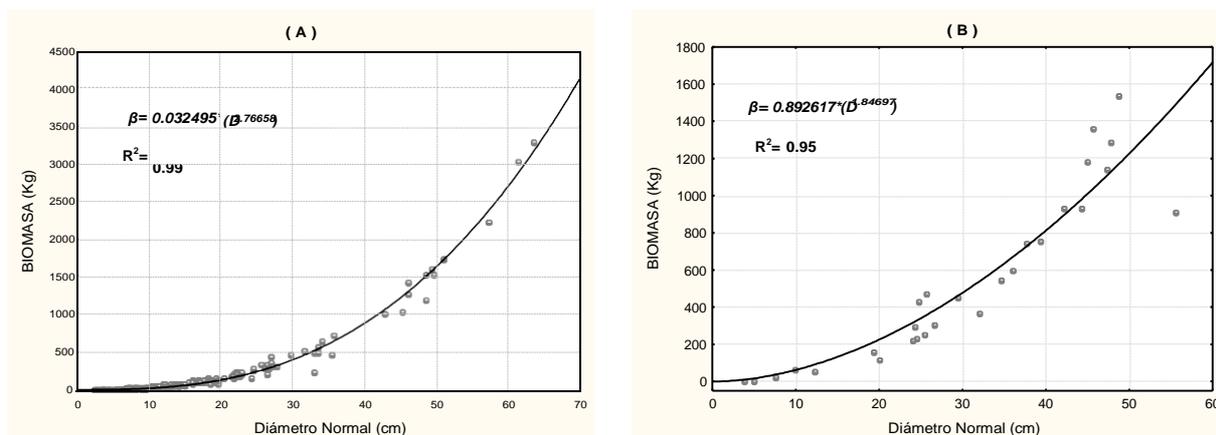


Figura 4. Curvas de ajuste para estimar biomasa en *P. teocote* (A) y *Q. germana* (B) en el bosque de pino-encino dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas.

Los renuevos de las especies arbóreas y arbustivas con diámetros menores de 2.5 cm mantienen 0.77 ton/ha de biomasa, éste valor al igual que los anteriores se encuentran en alto dinamismo debido al alto potencial de crecimiento y desarrollo en que se encuentran dentro del bosque. Cabe mencionar que en el estrato inferior no se tomó en cuenta las plantas herbáceas por mantener secuestrado el C poco tiempo ya que al desintegrarse se libera gran parte del C hacia la atmósfera (Ordóñez, 1999).

En el bosque de pino-encino se encuentran más de 19.8 t ha⁻¹ de biomasa de hojarasca, compuesta por hojas, ramas menores de 5 cm de diámetro, estróbilos, cantidad considerada únicamente de la materia orgánica que se encuentra sobre el suelo y que no tiene proceso de descomposición avanzado.

Como materia muerta o necromasa se considera a los árboles caídos, ramas gruesas que se acumulan sobre el suelo y que al final se incorporan al suelo, se obtuvo 0.61 t ha⁻¹.

Existe poca literatura, en los que evalúan la necromasa y hojarasca en los ecosistemas forestales, aunque consideran que es corto el tiempo que se mantendrá secuestrado el C, mucho de éste se incorpora al suelo quedando almacenado por muchos años (Ordóñez y Masera, 2001; West *et al.*, 2004). La incorporación del C al suelo en ecosistemas naturales se da por dos vías principales: por el mantillo (capa superficial de materia vegetal) y

por la biomasa radicular. La velocidad de descomposición de este material depende de las poblaciones microbianas del suelo y de las características del material vegetal (Oliva y García, 1998).

La biomasa aérea total fue de 186.3 t ha⁻¹, la mayor parte de la biomasa se encuentra en los fustes, ramas y hojas (88.6%), la hojarasca aporta el 10.7%, los renuevos y la necromasa almacenan el 0.4 y 0.3% respectivamente, del total de la biomasa aérea. En lo que refiere a biomasa radicular se obtuvo 33.0 t ha⁻¹ sumadas a la biomasa aérea da como resultado un total de 219.3 ton/ha de biomasa en el bosque de pino encino de la Reserva de la Biosfera el Cielo. Aunque el bosque fue perturbado hace más de 35 años, y aún continúan con cortas de saneamiento y consumo de leña (com. pers. Hernández, 2005), el bosque ha mantenido cantidades considerables de biomasa y continua proporcionando servicios ambientales valiosos como es: la recarga de mantos acuíferos, amortiguar las altas y bajas temperaturas, abrigo a la fauna silvestre, ayuda a la mitigación del cambio climático con el secuestro de C, entre otros (SEMARNAT, 2001; Sánchez *et al.*, 2005).

Estimación de C

Con los valores de biomasa obtenidos, se procedió a determinar las cantidades de C almacenado en cada árbol por especie, tomando la concentración de C que tiene cada especie, se obtuvo una cantidad de 110 tC ha⁻¹ valor

superior al encontrado por Navia y Velarde (2002) en un estudio realizado para el bosque templado de Uruapan, Michoacán con 79 tC ha⁻¹.

Autores como Smith *et al.*, (1993); MacDicken (1997) y Husch (2001), afirman, que en promedio la materia vegetal seca contiene 50% de C. Mientras que Koch (1989), menciona que las latifoliadas y las coníferas contienen un factor de conversión de C de 0.531 y 0.521 respectivamente. Schlegel *et al.*, (2001), ocupó 0.42 y 0.45 como factor de conversión de C en el proyecto de medición de la capacidad de captura de C en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. La FAO (2000) menciona que la vegetación de los bosques contiene entre 42 y 48% de C en la biomasa seca. Mientras que Acosta (2003), utilizó un factor de conversión de C de 0.465 para maleza y 0.455 para raíces en terrenos de ladera con vegetación forestal y con manejo agrícola en la sierra norte de Oaxaca. Fragoso (2003) y Zamora (2003), utilizaron un factor de conversión de C de 0.45 en estudios realizados en bosques templados en el estado de Michoacán. Es posible que estos autores varíen en el valor del factor de conversión para C en la materia vegetal seca debido a que los estudios se han realizado en distintos lugares.

Con el valor promedio por hectárea de carbono obtenido en este estudio se estimó un total de 1'460,124.3 toneladas de C almacenado en el bosque de pino-encino de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas.

La distribución del C en los depósitos del bosque se obtuvo que los árboles almacenan el 75.3%, seguido del sistema radicular con el 15% y la hojarasca almacena el 9% (Cuadro 3). Los árboles que mantienen el C por largos periodos de residencia dan lugar al fenómeno llamado secuestro de C. Por ello, los árboles y los bosques deberán verse como links de C que puedan ayudar a revertir el deterioro de nuestra atmósfera hasta el día en que se cuente con tecnologías verdaderamente limpias a una escala grande. Por lo pronto, los árboles que sean cosechados, deberán extraer la madera y convertirla en productos durables (madera aserrada, muebles, etc.) y así mantener

secuestrado el C por décadas (Ralph, 2000; Gayoso y Schlegel, 2001).

Cuadro 3. Distribución del C presente en los depósitos del bosque de pino-encino dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas.

Depósito	C/ha (ton)	Porcentaje (%)	C total (ton)
Fustes, ramas y nojas	82.91	75.3	1 100 435.4
Renuevos	0.40	0.4	5 309.1
Hojarasca	9.88	9.0	131 133.8
Necromasa	0.31	0.3	4 114.5
Raíces	16.51	15.0	219 131.5
Total	110.01	100.0	1 460 124.3

CONCLUSIONES

El bosque de pino-encino es de selección, es decir, que concentra el mayor número de individuos en las categorías diamétricas de 5 a 25 cm (más del 90%), entonces se define como un bosque con alto dinamismo y con capacidad prometedora para almacenar cantidades considerables de carbono atmosférico.

Es confiable aplicar el modelo de la forma $\beta = a_0 * D^a$ con los parámetros obtenidos para cada especie y sustituyendo el diámetro normal (cm) en la ecuación se puede estimar la biomasa aérea de manera confiable y rápida ($R^2=0.95$) en las especies, para posteriormente estimar el C almacenado por los árboles.

En el bosque el componente aéreo (fuste, ramas, hojas) cuenta con la mayor cantidad de C almacenado (82.9 tC ha⁻¹), el sistema radical tuvo (16.5 tC ha⁻¹) y en la hojarasca se almacenan 9.8 tC ha⁻¹, cifras que dan la certeza de la excepcional importancia que tiene el bosque de pino-encino de la Reserva de la Biosfera El Cielo hacia el planeta y los beneficios ambientales que otorga a las comunidades locales y regionales.

LITERATURA CITADA

- Acosta M. M.; Vargas H. J.; Velázquez M. A. y J. D. Etchevers. 2002. **Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México.** *Agrociencia* 36: 725-736.

- Acosta Míreles M. 2003. **Diseño y aplicación de un método para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal y agrícolas de ladera en México.** Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 99 p.
- Cairns M.; Brown S.; Helmer E. and G. Baumgardner 1997. **Root biomass allocation in the world's upland forest.** *Oecologia* 111: 1-11.
- Cook A. G., Janetos A. C. y W. T. Hinds. 1990. **Global effects of tropical deforestation: towards an integrated perspective.** *Environmental Conservation* 17: 201-212.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1993. **Forest resources assessment 1990 tropical countries.** FAO Forestry Paper 112. FAO, Rome. pp.59.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2000. **Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO₂.** *In:* Informe sobre recursos mundiales de suelos No. 88. Roma. 98 p.
- Fragoso L., P. I. 2003. **Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio "Cerro Grande" municipio de Tancítaro, Michoacán, México.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez" U.M.S.N.H. Uruapan, Michoacán. 65 p.
- Gayoso J. y B. Schlegel. 2001. **Guía para la formulación de proyectos forestales de carbono. En el proyecto de medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial.** Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 13 p.
- Geron C. D. y G. A. Ruark 1988. **Comparison of constant and variable allometric ratios for predicting foliar biomass of various tree genera.** *Canadian Journal of Forest Research* 18(10): 1298-1304.
- Gobierno del Estado de Tamaulipas y la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 2003. Programa: fijación de carbono en la Reserva de la Biosfera El Cielo. Informe Final. Dirección de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. 64 p.
- Hernández V., A. 2005. **Comentario personal. Técnico en el área de operación y manejo de áreas naturales protegidas.** SOPDUE, Cd. Victoria, Tamaulipas.
- Husch Bertram. 2001. **Estimación del contenido de carbono de los bosques.** *In:* Simposio internacional, medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Octubre, 2001. Valdivia, Chile. 9 p.
- Koch P. 1989. **Estimates by species group and region in the USA of: I) below-ground root weight as a percentage of oven dry complete-tree weight; and II) carbon content of tree portions.** Unpublished Consulting Report. 23 p.
- Lof L. V. 2005. **Síntesis histórica de "El Cielo".** *In:* Historia natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Sánchez R.G.; Reyes C.P y R.Dirzo editores. Universidad Autónoma de Tamaulipas. pp. 2-23.
- MacDicken K. G. 1997. **A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects.** Arlington, VA: Winrock International Institute for Agricultural Development.
- Martín P. S. 1958. **A biogeography of reptiles and amphibians in the Gómez Farías region, Tamaulipas, México.** Misc. Publ. Museum of Zoology, University of Michigan No. 101: 1-102.
- Masera O. 1995. **Future greenhouse emission and sequestration scenarios from land use change in Mexico.** Report to UNEP from the project Mexico's country study on greenhouse gas emissions, Instituto Nacional de Ecología. Mexico City.
- Memoria del Inventario Forestal del Estado de Hidalgo. 1985. **Manejo y aprovechamiento de los recursos forestales.** 69 p.
- Montero G.; Muñoz M.; Donés J. y A. Rojo. 2004. **Fijación de CO₂ por *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd. en los montes "Pinar de Valsaín" y "Matas de Valsaín".** *Revista Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales* Vol 13 (2): 399-416.
- Navia J. y J. Velarde. 2002. **Prefactibilidad de captura de carbono para el conjunto predial La Majada-Cerro Grande, Uruapan, Michoacán, México.**
- Olguín M. 2001. **Incorporación de la captura de carbono como propuesta de manejo forestal integral: estudio de caso en una comunidad de la meseta Purépecha, México.** Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias-UNAM. México. 73 p.
- Oliva M. y F. García O. 1998. **Un nuevo campo de acción en la química biológica: Parte I. Generalidades sobre el cambio global.** *Educ. Química.* UNAM. México.
- Ordóñez D., J. A. B. 1999. **Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán.** Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. Desarrollo gráfico editorial. México, D. F. 72 p.

- Ordóñez D., J. A. B. y O. Maser. 2001. **Captura de carbono ante el cambio climático**. Madera y Bosques 7 (1): 3-12.
- Post W. M.; Emmanuel W. R.; Zinke P. S. y A. G. Stangenberger 1982. **Soil carbon pools and world life zones**. Nature 298: 156-159.
- Prodan M.; Peters R.; Cox F. y P. Real. 1997. **Mensura Forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible**. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura (IICA)/BMZ/GTZ. San José, Costa Rica. 561 p.
- Ralph Roberts. 2000. **Asuntos forestales: los bosques tropicales y los cambios climáticos. Dirección general de políticas**. Agencia canadiense para el desarrollo internacional. Québec, Canadá.
- Rodríguez L., R.; Jiménez P., J.; Aguirre C., O. y E. Treviño. 2006. **Estimación de carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México**. Ciencia-UANL. Monterrey, N. L. 9(2): 179-187
- Sánchez R., G.; Reyes C., P. y R. Dirzo. 2005. **Historia natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México**. Universidad Autónoma de Tamaulipas. 732 p.
- Sarmiento J. L. y N. Gruber. 2002. **Sinks for anthropogenic carbon**. Physics Today. 55(8): 30-36
- Schimel D. S. 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. Global Change Biology. 1: 77-91.
- Schlegel B.; Gayoso J. y J. Guerra. 2001. **Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales**. En el proyecto de medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 15 p.
- Schulze E. D.; Wirth Ch. and M. Heimann. 2000. **Managing forest after Kyoto**. Science. 289(5487): 2058-2059.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2001. **México II Comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático**. Comité intersecretarial sobre cambio climático. SEMARNAT-INE. México, D. F 374 p.
- Smith T. M.; Cramer W. P.; Dixon R. K.; Leemans R.; Neilson R. P. y A. M. Solomon. 1993. **The global terrestrial carbon cycle**. In: Wisniewski J. and R. N. Sampson (Eds). Terrestrial biosphere carbon fluxes: quantification and sources of CO₂ Klumer Academic Publishers, Netherlands. pp. 19-37.
- Snowdon P.; Raison J.; Keith H.; Montagu K.; Bi K.; Ritson P.; Grierson P.; Adams M.; Burrows W. and D. Eamus. 2001. **Protocol for sampling tree and stand biomass**. National carbon accounting system technical report No. 31 Draft-March 2001. Australian Greenhouse Office. 114 p.
- Ter-Mikaelian M. T. y M. D. Korzukhin. 1997. **Biomass equation for sixty-five North American tree species**. Forest Ecology and Management. 97: 1-24.
- Tipper R. 1998. **Update on carbon offsets**. Tropical Forest Update. 8(1): 2-5
- Tuset R. y F. Duran. 1979. **Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización**. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 688 p.
- Valenzuela H., T. 2001. **Estimación de secuestro de carbono en bosques naturales de oyamel (Abies religiosa) en el sur del Distrito Federal**. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, edo. de México. 127 p.
- West T. O.; Marland G.; King A. W. y W. M. Post. 2004. **Carbon management response curves: estimates of temporal soil carbon dynamics**. Environmental Management 33(4): 507-518.
- Zamora C., J. C. 2003. **Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido "La Majada" municipio de Periban de Ramos, Michoacán**. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez" U.M.S.N.H. Uruapan, Michoacán. 48 p.
- Rodrigo Rodríguez Laguna**
Profesores-Investigadores del Instituto de Ciencias Agropecuarias-UAEH. Av. Universidad Km 1 Rancho Universitario, Tulancingo, Hidalgo. C. P. 43600. **Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), CONACyT-México.**
- Javier Jiménez Pérez**
Profesores-Investigadores de la Facultad de Ciencias Forestales-UANL. Carr. Nacional km 145 Apdo. Postal 41, C. P. 67700, Linares, N. L.
- Óscar A. Aguirre Calderón**
Profesor-Investigador de la Facultad de Ciencias Forestales-UANL. Carr. Nacional km 145 Apdo. Postal 41, C. P. 67700, Linares, N. L.
- Eduardo J. Treviño Garza**
Doctor en Ciencias Forestales en especialidad en Manejo Forestal por la Universidad de Gotinga, Alemania. Biólogo por la Facultad de Ciencias

Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, N. L. México. Profesor Investigador de la Facultad de Ciencias Forestales. Líneas de investigación son: Desarrollo de técnicas y metodologías para la aplicación de la geomática en el monitoreo e inventario de recursos naturales; implementación de modelos espaciales para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales utilizando los sistemas de información geográfica y el establecimiento de criterios para el ordenamiento ecológico. **Miembro del Sistema**

Nacional de Investigadores (SNI), CONACyT-México.

Ramón Razo Zárate

Profesor Investigador del Instituto de Ciencias Agropecuarias-UAEH. Av. Universidad Km 1 Rancho Universitario, Tulancingo, Hidalgo. C. P. 43600.