

Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México

R. Rodríguez-Laguna^{1*}, J. Jiménez-Pérez², J. Meza-Rangel¹,
O. Aguirre-Calderón² y R. Razo-Zarate¹

¹Profesor-Investigador en el Área Académica de Ingeniería Forestal-Icap-UAEH. Rancho Universitario ExHacienda Aquetzalpa, Apdo. Postal 32, C. P. 43600 Tulancingo, Hidalgo.

²Profesor-Investigador de la Facultad de Ciencias Forestales-UANL. Carr. Nacional km 145 Apdo. Postal 41, C. P. 67700, Linares, N. L.

Recibido 14 mayo 2007, revisado 12 septiembre 2007, aceptado 18 noviembre 2007

Carbon content in a semi-deciduous tropical forest at Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, Mexico.

Abstract

The carbon capture is an important environmental service that provides the forests. Its importance is leading because, it relates to the most serious environmental problems that today affect the planet. Contributing to that situation, in this study was presented as a main objective to generate information of the carbon content for the tropical semi-deciduous forest and estimate the carbon quantity presented in the above-ground biomass and its distribution in that ecosystem inside Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas. In 2004 it was measured tree and shrub dbh and height in 1000 m² sampling plots, the litter and dead wood were weighted in plots of 1 and 25 m² respectively. In the results an average of 778.8 trees ha⁻¹ and 1655 sprouts ha⁻¹ were obtained. With the potential model was estimated for tropical semi-deciduous forest an average of 94.6 tC ha⁻¹, of which 68.5 t are found stored in stems, branches and leaves, in the roots 13.7 tC, the litter 10.8 tC, while in the sprouts and dead wood 0.9 and 0.7 tC ha⁻¹ are stored respectively, considerable amounts that help to mitigate the climatic change, the effect hothouse and the thinning of the ozone layer.

Key words: Tropical semi-deciduous forest, biomass, CO₂, Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas.

Resumen

La captura de carbono es un importante servicio ambiental que proporcionan los bosques y selvas. Su relevancia es de primer orden porque se relaciona con los más graves problemas ambientales que hoy afectan al planeta. Contribuyendo a tal situación, en este estudio se planteó como objetivo generar información del contenido de carbono para el bosque tropical subcaducifolio y estimar la cantidad de carbono presente en la biomasa aérea y su distribución en dicho ecosistema dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas. De octubre a diciembre del 2004 se midieron diámetros y alturas en árboles y arbustos en sitios de 1000 m², la hojarasca y necromasa se pesó en parcelas de 1 y 25 m² respectivamente. Los resultados mostraron en promedio 778.8 ind ha⁻¹ y 1655 renuevos ha⁻¹. El modelo potencial estimó en el bosque tropical subcaducifolio 94.6 t C ha⁻¹, de las cuales 68.5 t se encuentran almacenadas en fustes, ramas y hojas, en raíces se encuentran 13.7 t, en hojarasca se almacenan 10.8 t, mientras que en renuevos y necromasa se almacenan 0.9 y 0.7 t C ha⁻¹ respectivamente, cantidades considerables que ayudan a mitigar el cambio climático, el efecto invernadero y el adelgazamiento de la capa de ozono.

Palabras clave: Bosque tropical subcaducifolio, biomasa, CO₂, Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas.

Introducción

En los organismos vivos se encuentra presente el

carbono, por ello los árboles en particular asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante su vida (Ludevid, 1997). Aproximadamente el 90% de la biomasa acumulada en la tierra se encuentra

* Autor de correspondencia
E-mail: rodris71@yahoo.com

en los bosques en forma de fustes, ramas, hojas, raíces y materia orgánica (Nakama et al., 2003). No obstante, los árboles al ir aumentando su diámetro y altura alcanzarán un tamaño aprovechable en términos comerciales para extraer productos elaborados, como muebles, tablas, polines, etcétera. Estos productos están constituidos por CO₂ en gran medida y se considera almacenado el CO₂ hasta que es enviado nuevamente a la atmósfera, debido a que los productos tienen un tiempo de vida determinado (Ordóñez, 1999).

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

En México existen escasos estudios científicos sobre secuestro de carbono en diferentes ecosistemas (Olguín, 2001). Sin embargo en los ecosistemas del estado de Tamaulipas no se cuenta con información relativa a este tópico. Pero, por su privilegiada ubicación geográfica propicia una gran variedad de ambientes y una amplia gama de hábitats. Autores como Puig y Bracho (1987); Sánchez et al. (2005), mencionan que en la región se presenta un gradiente de vegetación que va desde: el bosque tropical subcaducifolio (BTS), bosque mesófilo de montaña, bosque templado-frío y finalmente la vegetación tipo xéricos en solo 21 km en línea recta, observándose que la transición de un tipo de vegetación a otro es conspicua.

El presente trabajo engloba al BTS de la Reserva de la Biosfera El Cielo, que presenta gran diversidad de especies vegetales que ayudan a mitigar el problema del cambio climático mediante el almacenamiento de carbono en sus estructuras que conforman cada especie vegetal. En tal sentido se plantean los siguientes objetivos:

- Generar información acerca del contenido de carbono que existe en la biomasa aérea del bosque tropical subcaducifolio dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México.
- Estimar la cantidad de carbono presente en cada componente aéreo y radicular del bosque tropical subcaducifolio en la Reserva de la Biosfera El Cielo.

Material y métodos

El estudio se desarrolló en los municipios de Gómez Farías y Llera dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, que cuentan con partes de BTS sumando una superficie de 7 812.75 hectáreas como se muestra en la Fig. 1 (Jiménez, 2003).

El BTS se desarrolla entre 200 y 800 m de altitud, en comunidades primarias la altura promedio es de 20 m. Las especies más comunes son: *Bursera simaruba*, *Mirandaceltis monoica*, *Brosimum alicastrum*, *Guazuma ulmifolia*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Ficus spp.* y *Phoebe tampicensis* (Sánchez et al., 2005). La mayoría de estos elementos son de afinidades tropicales, pero los árboles pierden las hojas durante la estación seca, entre diciembre y abril. Los árboles de 8 a 15 m de altura ocupan el 80% del dosel del bosque. Este ecosistema se desarrolla en un clima semicálido-húmedo.

Diseño de muestreo

Por tratarse de un área natural protegida se utilizó un diseño de muestreo dirigido, la unidad de muestreo utilizada fue de 1000 m² (20 x 50 m) dividido en cuatro cuadrantes. Cuadrante I se midieron todos los árboles, arbustos y regeneración. Cuadrantes II, III y IV se midieron únicamente los individuos mayores de 5 cm de diámetro normal (Schlegel et al., 2001).

La selección del sitio de muestreo en campo se consideró que fuera representativo del lugar, que estuviera conservado sin vegetación indicadora de perturbación, con diversidad de especies y con individuos de diferente diámetro.

La medición se realizó de octubre a diciembre del 2004 antes de perder el follaje, las variables que se evaluaron en cada individuo fueron altura total,

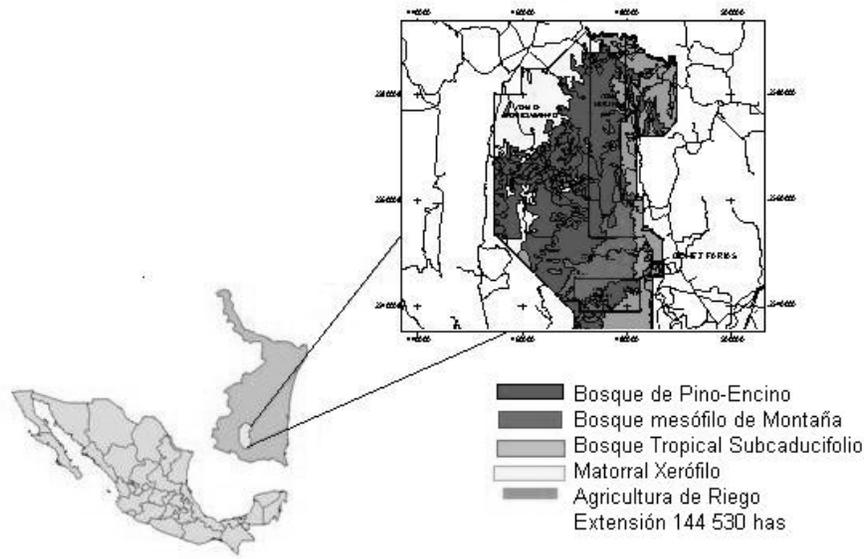


Figura 1. Ubicación de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México.

diámetro normal y altura de inicio de copa viva. En la misma fecha se pesó la hojarasca y la necromasa en parcelas de 1 y 25 m² respectivamente.

Selección de árboles para la medición de carbono

El reglamento del área natural protegida no permite alterar al ecosistema, motivo que no permitió tomar muestras de madera en los árboles representativos del ecosistema. Pero se tomaron muestras de hojarasca y necromasa, estas se pesaron en campo y fueron llevadas al laboratorio de la Facultad de Ciencias Forestales-UANL en Linares, Nuevo León.

Las muestras se secaron a temperatura de 105 °C hasta alcanzar el peso constante (peso seco). Se obtuvo la relación peso seco/peso húmedo de las muestras de hojarasca y necromasa, esta relación se multiplicó por el peso total de cada parcela de hojarasca y necromasa.

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 el coeficiente de forma que reporta la Memoria del Inventario Forestal del estado de Hidalgo (1985) para ciertas especies de

hojosas, además, se consideró agregar el 30% del volumen fustal obtenido, que representa los brazuelos y ramas que conforman la copa del árbol; para el tocón, hojas y ramas menores de 5 cm de diámetro se agregó el 5% del volumen fustal obtenido. El volumen individual por especie se multiplicó por la densidad básica respectiva de cada especie obteniendo la biomasa. Cabe mencionar que se utilizó la densidad básica reportada por Tuset y Durán (1979), Barajas y León (1989), Reyes et al. (1992), Martínez y Martínez (1996), para algunas especies presentes en el área de estudio.

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 ver. 6.0). De los cuales se utilizó el modelo potencial (Ter-Mikaelian y Korzukhin, 1997; Acosta, 2003) por presentar para cada especie el mayor coeficiente de determinación (R²), además por su simplicidad en la ecuación:

$$\beta = a_0 * D^{a_1} \quad (1)$$

donde: β es el peso seco total de la biomasa aérea (kg), D es el diámetro a 1.3 m (cm) y a_0 y a_1 son los

coeficientes de la regresión.

Determinación de carbono en las muestras

Las muestras de hojarasca y necromasa se molieron y acondicionaron para medir la concentración del carbono total mediante el equipo de Solids TOC Analyzer. Se obtuvo un promedio de las tres muestras en porcentaje de concentración de carbono para el BTS. Los resultados del equipo son confiables, recomendados por Dennis et al. (2001) quienes son los responsables de la metodología y calibración del equipo Solids TOC Analyzer de la empresa O I Analytical.

Dado que no se obtuvieron muestras de madera para determinar la concentración de carbono por especie se tomó como referencia los resultados de Smith et al. (1993), Montoya et al. (1995), MacDicken (1997) y Husch (2001), que afirman que en promedio la materia vegetal seca contiene 50% de carbono. Sin embargo para estimar con mayor certeza la cantidad de carbono almacenado en la hojarasca y necromasa, se utilizó el valor promedio de concentración de carbono obtenido con el equipo. Estos valores se multiplicaron por la biomasa seca de hojarasca y necromasa.

Con la suma de los cuatro depósitos aéreos de carbono más el carbono estimado en el sistema radical se obtuvo la cantidad total por hectárea de carbono almacenado en el BTS.

El determinar la biomasa radicular es un proceso costoso y desafortunadamente no se encontró información en la literatura para estos ecosistemas. Sin embargo, 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.

Resultados y discusión

Diversidad de especies

La diversidad biológica en el BTS representa un factor determinante en la producción y la productividad en términos de proveer servicios ambientales. Éste ecosistema tuvo en promedio 778.8 individuos por hectárea con diámetros mayores de 5 cm y más de 1655 renuevos por

hectárea. Las especies con mayor frecuencia fueron *Brosimum alicastrum* (70 ind ha⁻¹ y 275 renuevos ha⁻¹), y *Guazuma ulmifolia* (131.3 ind ha⁻¹ y 70 renuevos ha⁻¹). El resto de las especies se encuentran con menor frecuencia y es posible que en los sitios de muestreo no se presentaron algunas especies ya que Sánchez et al. (2005) presentan una lista de especies superior en número para este ecosistema.

Las especies con amplio rango en diámetro fueron *Brosimum alicastrum* (<5 hasta 95 cm), *Guazuma ulmifolia* (<5 hasta 45 cm). Sin embargo se presentó un número elevado de individuos por hectárea en la categoría diamétrica 5 y 10 cm, este número se reduce considerablemente a partir de la categoría diamétrica de 20 cm (Fig. 2).

En general el BTS presenta una estructura cerrada y fisonómicamente compacto, concuerda con el estudio realizado por González (2005) al mencionar que el BTS se encuentra conservado dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo. En el ecosistema los árboles mayores de 40 cm de diámetro, corresponden principalmente a especies como *Brosimum alicastrum*, *Sabal mexicana*, *Guazuma ulmifolia*, *Bursera simaruba*, *Phyllostylon brasiliense*, *Leucaena pulverulenta*.

Estimación de biomasa

Una vez obtenido el volumen por árbol se inició el proceso matemático para estimar la biomasa correspondiente a cada árbol por especie. Posteriormente se aplicó el modelo potencial obteniendo coeficientes de determinación (R²) por arriba de 0.95 para cada especie, excepto para *Bauhinia divaricata* con 0.94, *Brosimum alicastrum* y *Harpalyce arborescens* con 0.92, lo que representa una alta confiabilidad del modelo. En la Fig. 3 se muestra la curva de ajuste con un R² de 0.99 para *Robinsonella discolor* y con una R² de 0.92 para *Harpalyce arborescens*.

En las ecuaciones de regresión generadas para cada especie, se encontró a *Psidium guajava*, *Robinsonella discolor*, *Tilia houghii* y *Trichilia havanensis* que mostraron R² superiores 0.99, otras especies como *B. alicastrum* y *H. arborescens* mostraron valores de R² aceptables, mayores de 0.92 (Tabla 1).

Los modelos generados son aplicables sólo para la especie correspondiente que se encuentra en la región.

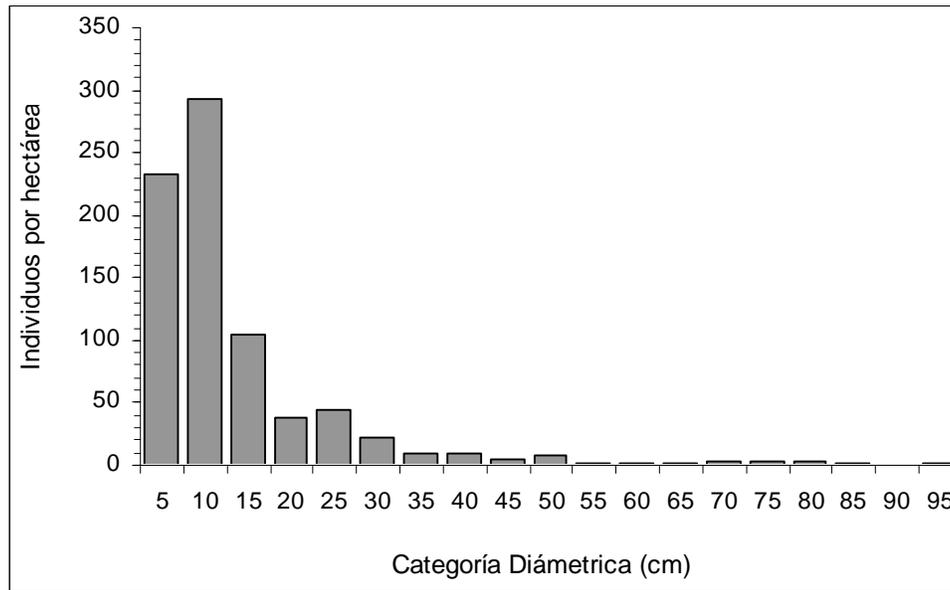


Figura 2. Número de individuos por hectárea por categoría diamétrica en el BTS dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo.

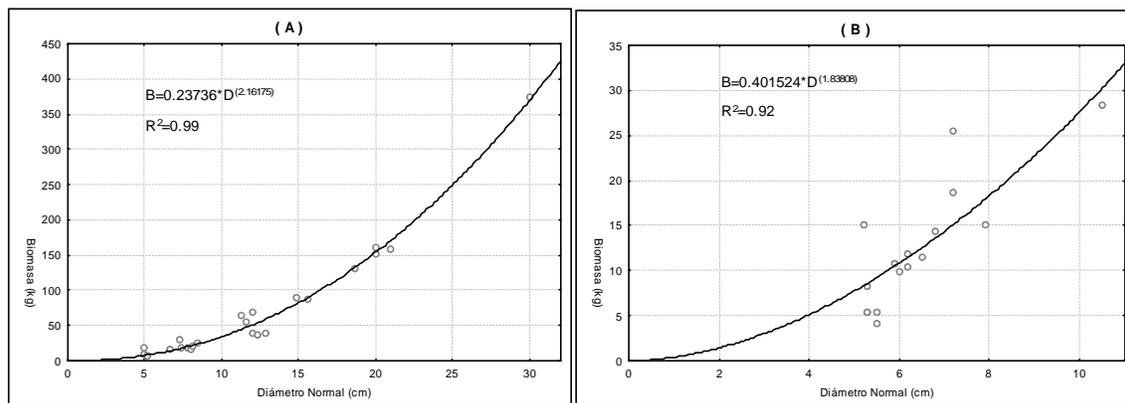


Figura 3. Curvas de ajuste para estimar biomasa en: (A) *Robinsonella discolor* y (B) *Harpalyce arborescens* en el BTS en la Reserva de la Biosfera El Cielo.

Tabla 1. 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 el BTS.

Especie	N	R^2	F	Parámetros	
				a_0	a_1
<i>Bauhinia divaricata</i>	33	0.93	246.5	0.197575	2.34002
<i>Brosimum alicastrum</i>	56	0.92	339.5	0.479403	2.0884
<i>Bursera simaruba</i>	43	0.95	453.1	0.064808	2.46998
<i>Cestrum dumetorum</i>	17	0.98	513.5	0.181077	2.29418
<i>Dendropanax arboreus</i>	10	0.95	101.1	0.037241	2.99585
<i>Mimosa albida</i>	44	0.96	611.2	0.23855	1.92242
<i>Guazuma ulmifolia</i>	105	0.98	4280.6	0.232435	2.21906
<i>Harpalyce arborescens</i>	16	0.92	92.4	0.401524	1.83808
<i>Mirandaceltis monoica</i>	16	0.95	148.3	0.062394	2.71448
<i>Nicotina glauca</i>	24	0.95	263.0	0.182197	2.22818
<i>Phoebe tampicensis</i>	24	0.97	553.8	0.222776	2.33953
<i>Piscidia piscipula</i>	30	0.95	283.8	0.064066	2.62323
<i>Psidium guajava</i>	18	0.99	967.0	0.246689	2.24992
<i>Quercus spp.</i>	19	0.97	345.0	0.038424	2.82139
<i>Ceanothus caeruleus</i>	15	0.97	303.9	0.311733	2.04754
<i>Robinsonella discolor</i>	24	0.99	1407.3	0.23736	2.16175
<i>Sargentia gregii</i>	11	0.97	223.0	0.078545	2.58952
<i>Tilia houghii</i>	10	0.99	5104.8	0.048454	2.58164
<i>Trichilia havanensis</i>	20	0.99	1535.8	0.130169	2.34924

Tabla 2. Distribución del carbono secuestrado en los depósitos del BTS dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas.

Depósito	C/ha (t)	Porcentaje (%)	C total (t) ^a
Fustes, ramas y hojas	68.5	72.3	535 173.4
Renuevos	0.9	1.0	7 031.5
Necromasa	0.7	0.8	5 468.9
Hojarasca	10.8	11.4	84 377.7
Raíces	13.7	14.5	107 034.7
Total	94.6	100%	739 086.2

^a7812.75 hectáreas de BTS dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo (Jiménez, 2003).

Con el modelo potencial se estimaron más de 136.9 t ha⁻¹ de biomasa almacenada en los fustes, ramas y hojas de los árboles del BTS. En hojarasca, renuevos y necromasa se obtuvieron 19.5, 1.8 y 1.4 t ha⁻¹ de biomasa respectivamente.

Existe escasa literatura que hace referencia a la evaluación de la necromasa y hojarasca en los ecosistemas forestales, aunque consideran que es corto el tiempo que se mantendrá secuestrado el carbono, mucho de éste se incorpora al suelo quedando almacenado por muchos años (West et al., 2004).

Sumando los cuatro componentes aéreos del BTS se obtuvieron más de 159.8 t ha⁻¹ de biomasa. La mayor parte de esta biomasa aérea se encuentra en el componente de fustes, ramas y hojas con 85.7%, le sigue la hojarasca con 12.2%, los renuevos y necromasa representan el 1.2 y 0.9% respectivamente. La biomasa radicular estimada fue de 27.4 t ha⁻¹, que sumadas con la biomasa aérea da como resultado un total de 187.2 t ha⁻¹ de biomasa. A pesar de que continúan cortando árboles para consumo de leña (Con. personal Hernández, 2005) es posible que el poco valor comercial que tiene la madera de las especies de este ecosistema sea motivo para que siga manteniendo cantidades considerables de biomasa y proporcione servicios ambientales valiosos como es: la recarga de mantos acuíferos, amortiguar las altas y bajas temperaturas, ayudar a mitigar el cambio climático (SEMARNAT, 2001).

Estimación de carbono

En el BTS se obtuvo más de 94.6 tC ha⁻¹ en los componentes aéreos y radicular, considerando que la biomasa seca en general tiene 50% de carbono. El valor obtenido es mayor al que reporta de forma general la SEMARNAT (2004) para bosques degradados, estos almacenan menos de 80 tC ha⁻¹, es probable que el resultado se deba a la inaccesibilidad y a la alta densidad de individuos por unidad de superficie principalmente en el segundo estrato.

La distribución del carbono almacenado en los depósitos de este ecosistema tiene el siguiente orden de importancia, en la parte aérea (fustes, ramas y hojas) guardan el mayor porcentaje de carbono (72.3%), seguido del sistema radicular y hojarasca con el 14.5 y 11.4 % respectivamente (Tabla 2).

Los árboles que mantienen el carbono por largos periodos de residencia dan lugar al fenómeno

llamado secuestro de carbono (Post et al., 1990). Por ello, los árboles de bosques y selvas deberán verse como links de carbono 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 carbono por décadas (Ralph, 2000).

Conclusiones

En el bosque tropical subcaducifolio se encontró almacenado en promedio más de 94.6 tC ha⁻¹ en los árboles, arbustos, renuevos, necromasa, hojarasca y raíces.

El mayor contenido de carbono se localizó en el componente aéreo de fustes, ramas y hojas con 68.4 tC ha⁻¹ y el menor contenido fue para la necromasa con solo 0.7 tC ha⁻¹. Estas son cantidades considerables de carbono secuestrado que obligan a proteger el área de la deforestación, incendios forestales y otros factores que amenacen la liberación de este carbono hacia la atmósfera.

Agradecimientos

A Fondos Mixtos del Estado de Tamaulipas por aportar los recursos financieros para desarrollar el proyecto “Capacidad de captura de carbono en ecosistemas mixtos en el Estado de Tamaulipas. FOMIX TAMPS 2002-C01-3336”. Proyecto realizado en la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México.

Bibliografía

- Acosta, M.M. 2003. Diseño y aplicación de un método para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal y agrícolas de ladera en México. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 99 p.
- Barajas, M.J. y León, G.C. 1989. Anatomía de maderas de México: especies de una selva baja caducifolia. Instituto de Biología, Depto. de Botánica. UNAM. 163 p.
- Cairo, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. y Baumgardner, G.A. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111: 1-11.
- Dennis, S.O., Aburime, S.A. y Harrison, R.E. 2001. Transport of Simazine in soil amended with pine bark wood fiber. *Proceedings of Southern Nursery Association (SNA) Research Conference*. 46: 602-605.
- González, M.F. 2005. La vegetación In: Historia natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Sánchez R. G.; Reyes C. P. y R. Dirzo (eds) Universidad

- Autónoma de Tamaulipas. pp. 88-105.
- Hernández, V.A. 2005. Comunicación personal. Técnico en el área de operación y manejo de áreas naturales protegidas. SOPDUE, Cd. Victoria, Tamaulipas.
- Husch, B. 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.
- Jiménez, P.J. 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.
- Ludevid, A.M. 1997. El cambio global en el medio ambiente. Ed. Marcombo Boixareu editores. Barcelona.
- MacDicken, K.G. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA: Winrock International Institute for Agricultural Development. Forest Carbon Monitoring Program. 87 p.
- Martínez, C.J.L. y Martínez, P.C.E. 1996. Características de maquinado de 32 especies de madera. *Madera y Bosques* 2(1): 45-61.
- Memoria del Inventario Forestal del Estado de Hidalgo, 1985. Manejo y aprovechamiento de los recursos forestales. 69 p.
- Montoya, G., Soto, L., de Jong, B., Nelson, K., Farias, P., Tic Pajal Yakac, Taylor, J. y Tipper, R. 1995. Desarrollo forestal sustentable: captura de carbono en las zonas Tzeltal y Tojolabal del estado de Chiapas. Instituto Nacional de Ecología. Cuadernos de Trabajo 4. México D. F. 50 p.
- Nakama, V., Alfieri, A., Casas, R., Lupi, A., López, G. y Pathauer, P. 2003. Secuestro de carbono en plantaciones forestales de la región centro oeste de la provincia de Buenos Aires. 11 p.
- Olguin, 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.
- 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.
- Post, W.M., Peng, T.H., Emmanuel, W.R., King, A.W., Dale, V.H. y DeAngelis, D.L. 1990. The global carbon cycle. *American Scientist*. 78: 310-326.
- Puig, H. y Bracho, R. 1987. El Bosque mesófilo de montaña de Tamaulipas. Instituto de Ecología. México, D. F. 186 p.
- Ralph, R. 2000. Asuntos forestales: los bosques tropicales y los cambios climáticos. Dirección general de políticas. Agencia canadiense para el desarrollo internacional. Québec, Canadá. 14 p.
- Reyes, G., Brown, S., Chapman, J. y Lugo, A.E. 1992. Wood densities of tropical tree species. U. S. Department of Agriculture. Forest Service. Southern Forest Experiment station. New Orleans, Luisiana. 15 p.
- Sánchez, R.G., Reyes, C.P. y Dirzo, R. 2005. Historia natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Universidad Autónoma de Tamaulipas. 732 p.
- Schlegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. 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. y Heimann, M. 2000. Managing forest after Kyoto. *Science*. 289(5487): 2058-2059.
- Secretaría de 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.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 2004. Introducción a los servicios ambientales. Hombro Naturaleza. Primera reimpresión. Méx. 71 p.
- Smith, T.M., Cramer, W.P., Dixon, R.K., Leemans, R., Neilson, R.P. y Solomon, A.M. 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. y Eamus, D. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. National carbon accounting system technical report No. 31 Draft-March 2001. Australian Greenhouse Office. 114 p.
- Ter-Mikaelian, M.T. y Korzukhin, M.D. 1997. Biomass equation for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management*. 97: 1-24.
- Tuset, R. y Duran, F. 1979. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 688 p.
- West, T.O., Marland, G., King, A.W. y Post, W.M. 2004. Carbon management response curves: estimates of temporal soil carbon dynamics. *Environmental Management* 33(4): 507-518.