ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CAPTURA DE CARBONO DE LA VEGETACIÓN DEL PARQUE NACIONAL "EL CIMATARIO, QUERÉTARO"

Carbon sequestration capacity in the vegetation of the "El Cimatario National Park" in Queretaro

Bustos-Ulloa Diego, Morales-Rangel Adriana, Cambrón-Sandoval Victor Hugo * y Ledesma-Colunga María Concepción.

Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro

**Correo para correspondencia:* hugo.cambron@gmail.com.

Fecha de recepción: 27/07/2015
Fecha de aceptación: 23/10/2015

Resumen

Hoy en día se consideran a los ecosistemas como bienes económicos, debido a que estos nos proveen de servicios, sostienen los procesos fundamentales para la vida y mantienen condiciones para satisfacer aspectos estéticos y culturales. La vegetación como selva baja caducifolia y bosque xerófilo no se toman en cuenta para dichos servicios, siendo ecosistemas con un elevado potencial en la prestación de los mismos y que representan la vegetación predominante en el estado de Querétaro. El objetivo es determinar la capacidad de captura de carbono por la vegetación representativa del Parque Nacional El Cimatario. Se realizaron dos escalas de medición: individual y comunitario. En nivel individual, se delimitaron parcelas de 2500 m^2, donde se evaluó el total de individuos dominantes, las variables de respuesta fueron: altura total, DAP, altura de la copa, forma de copa, cobertura de copa, volumen e índice de cobertura vegetal (LAI), la estructura de la vegetación se estimó a partir de parcelas Whittaker modificadas, finalmente en algunas parcelas se colectaron muestras biológicas de tallo, ramas y hojas para obtener el peso seco y posterior el carbono por estructura, con dichos datos se desarrollaran ecuaciones alométricas para estimar la cantidad de carbono en el resto de las parcelas. En nivel comunitario, se utilizaron variables como el índice de área foliar para escalar las parcelas a nivel comunitario a través de sensores remotos en sistemas de información geográfica, desarrollando ecuaciones alométricas para el resto de la vegetación del Parque Nacional El Cimatario.

Palabras clave:

Alometría, carbono, El Cimatario, Servicios ambientales.

Abstract

Nowdays ecosystems are economic goods, because these provide us with services, support the fundamental life processes and maintain conditions to meet aesthetic and cultural aspects. While several projects to this end, unfortunately deciduous forest vegetation is active in dry woodland, currently not taken into account for such services, being ecosystems with high potential in providing them and representing vegetation predominant in the state of Querétaro. Within the various environmental services, this proposal focuses on carbon sequestration by the native vegetation. The objective is to determine the ability of carbon sequestration by vegetation representative of the Cimatario National Park. The methodology is based on performing two measurement scales: individual and community, individually, plots of 2500 m2, which will be assessed total dominant individuals, to identifying the response variables are: height, dbh, height cup, cup-shaped, canopy cover, volume and rate of vegetation cover (LAI), the structure of vegetation is estimated from modified Whittaker plots, finally some plots biological samples of stem, branches and leaves will collect to obtain the dry weight and after the carbon structure with said data allometric equations were developed to estimate the amount of carbon in the remaining plots. At the community level, variables such as leaf area index were used to scale the plots at the community level through remote sensing in geographic information systems, developing allometric equations for the rest of the vegetation of the Cimatario National Park.

Keywords:

Allometry, carbon, Cimatario, Environmental services.

I. Introducción

Los ecosistemas forestales pueden almacenar cantidades significativas de gases de efecto invernadero (GEI) y en particular de CO_2. Por ello, en las últimas décadas ha surgido un interés para incrementar la capacidad de almacenar carbono en la vegetación terrestre a través de la conservación forestal, la reforestación, la creación de áreas verdes y otros métodos de manejo del suelo. Muchos estudios han reportado que los bosques naturales poseen un gran potencial para almacenar carbono (Benjamín-Ordóñez y Masera, 2001: 9; IPCC, 2001). Aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes de la vida (Smith *et al*., 1993; Cambrón-Sandoval *et al*., 2013).

Una solución para disminuir el carbono en el ambiente, está definida como cualquier acción que dé como resultado una reducción del incremento neto en las emisiones de este gas de un área determinada y/o por la substitución de combustibles fósiles (Benjamín-Ordóñez y Masera, 2001). El IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change), identifica tres opciones básicas de mitigación de carbono en el sector forestal (IPCC, 2007):

a) La conservación; esta opción consiste en evitar la liberación de carbono almacenado preservando las áreas naturales protegidas, fomentando el manejo sostenible de bosques naturales y el uso renovable de la leña, reduciendo la ocurrencia de incendios.
b) La reforestación; brinda prioridad en la recuperación de áreas degradadas mediante acciones como la protección de cuencas, la reforestación urbana, la restauración para fines de subsistencia, el desarrollo de plantaciones comerciales para madera, pulpa para papel, hule, entre otros, así como de las plantaciones energéticas (producción de leña y generación de electricidad) y de los sistemas agroforestales.
c) La sustitución; comienza con el cambio de los productos industriales por aquellos hechos de madera, es decir obtener energía a partir de biomasa y finalmente por la reducción del uso de combustibles fósiles.

Por lo anterior, se requiere que las diferentes acciones de mitigación representen beneficios para los propietarios de los predios o para la comunidad en general comprometidos con el ambiente y así establecer un mecanismo de pago justo por los servicios ambientales, sobre todo en la captura de carbono. La cual se basa en la producción primaria neta de los organismos vegetales en los sitios (biomasa). La estimación de la cantidad de biomasa de un organismo es posible mediante el método directo (destructivo) (Acosta *et al*. 2002; Castellanos *et al*., 1996); sin embargo, también es posible estimar la biomasa a través de ecuaciones alométricas basada en la productividad individual, la cual, se muestra como una herramienta confiable y no destructiva en la estimación de biomasa, sobre todo en especies forestales. Como principio, la alometría funciona mediante información secundaria como serían: altura y el diámetro de los árboles, haciendo posible estimar el contenido de biomasa. En las últimas décadas se han desarrollado ecuaciones que relacionan la biomasa de sus diferentes componentes (raíces, hojas, ramas y fustes) con las características dasométricas de los árboles con la finalidad de entender la productividad del sitio. Los estudios sobre la biomasa tienen como finalidad entender los ciclos de los nutrientes. También se usan para observar el efecto de la vegetación en el ciclo global del CO_2 (Brown *et al*., 1989).

Dentro del Parque Nacional El Cimatario presenta una vegetación predomínate de bosque tropical caducifolio y el matorral xerófilo (Rzedowski y Calderón, 2013), para la cual no se cuentan con estimaciones de capacidad de captura de carbono, además, El Cimatario y la UAQ presentan un convenio de colaboración académica que comprenden acciones de manejo y conservación de la vegetación del parque. Por lo cual, este estudio pretende aportar la primera estimación de la capacidad de captura de carbono de este Parque Nacional.

II. Objetivo general

Determinar la capacidad de captura de carbono de las especies predominantes de las comunidades arbóreas inmersas en el Parque Nacional El Cimatario, Querétaro.

III. Objetivos específicos

Desarrollar ecuaciones alométricas para estimar el carbono capturado a partir de variables de crecimiento en vegetación de tipo selva baja caducifolia y matorral xerófilo.

Ajustar y comparar modelos de crecimiento en biomasa aérea y captura de carbono a nivel del arbusto individual en nueve especies forestales del Matorral Espinoso.

IV. Materiales y métodos

Descripción del área de estudio.

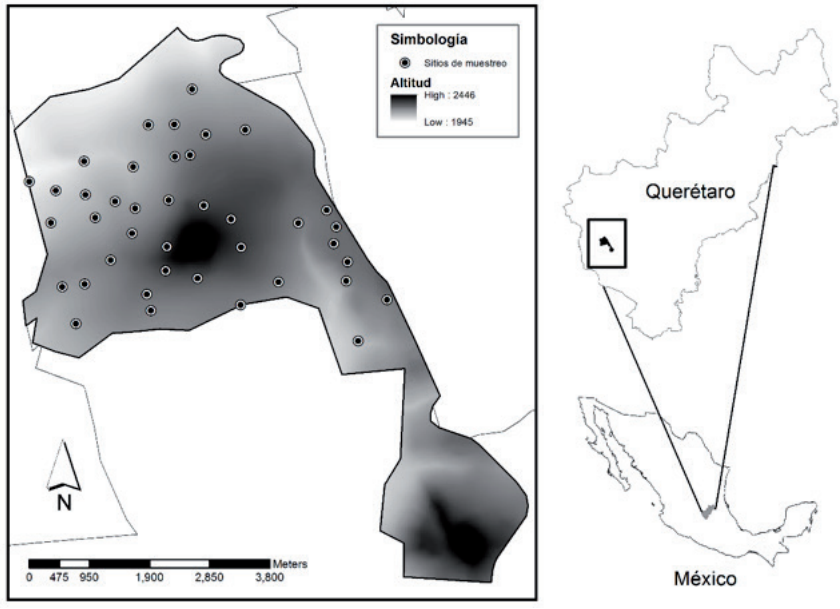
El presente trabajo se realizó en el Parque Nacional El Cimatario que abarca los municipios de Querétaro, Huimilpan y Corregidora, en el estado de Querétaro (Fig.1). El área presenta una altura entre 2220 a 2400 msnm y una extensión de 2500 hectáreas. Sus coordenadas son 20 28' 30" y 20 33' 23" de latitud norte y 100 19' 37" y 100 23' 12" de longitud oeste (SARH, 1994).

Se encuentra ubicado en la región fisiográfica denominada Mesa Central o Anáhuac, al norte de la Sierra de Amealco. El Cimatario presenta un clima semicálido y, en su mayoría de una vegetación típica de zonas áridas y semiáridas.

Selección de puntos de muestreo.

La ubicación y selección de los puntos de muestreo (Fig.1) correspondieron a un proceso aleatorio mediante la función *Random points* del programa ArcMap V10, con el cual se generó una matriz de 50 puntos distribuidos aleatoriamente dentro de la inmediaciones de El Cimatario. Se eligieron como condicionantes, previo a la selección de puntos de muestreo, que dichos puntos representaran vegetación nativa aparente (BTC).

Figura. 1. Ubicación y Sitios de Muestreo en "El Cimatario".



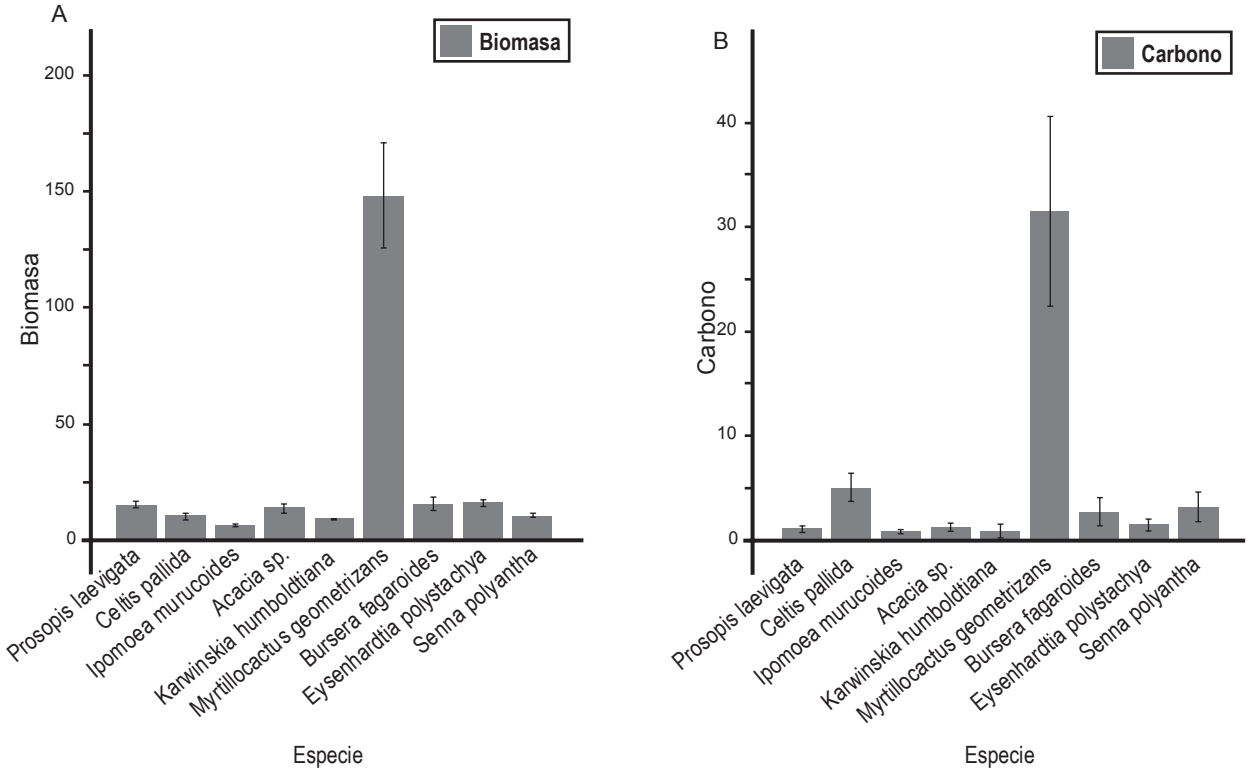
Cuadrantes de muestreo.

Dentro de cada punto seleccionado se delimitó un cuadrante de 25 x 25m, estrategia que nos permite obtener una distribución espacial, regular y consistente del total de los cuadrantes sobre el sitio de interés. Se realizaron mediciones de crecimiento en los individuos dominantes del dosel y con mayor cobertura vegetal, se seleccionaron especies nativas como: Mezquite (*Prosopis laevigata*), Huizache (*Acacia* sp.), Palo bobo (*Ipomoea murucoides*), Copal (*Bursera fagaroides*), Nopal (*Opuntia* sp.), Garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*), entre otras, sin tomar en cuenta los árboles que han sido introducidos por la reforestación como el Eucalipto, pino y cedros.

De cada cuadrante se seleccionó un individuo de cada especia y se tomaron las mediciones de crecimiento correspondientes que son: diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total. Se utilizó un método no destructivo sólo tomando muestras biológicas de ramas y hojas, obteniendo el peso fresco de éstas. Posteriormente, se llevaron al laboratorio para el secado de las mismas utilizando un horno. De cada muestra se separan las hojas de la rama, obteniendo el peso seco por separado de cada estructura; para este fin se mantuvieron a una temperatura constante de 70°C, entre de 3 a 7 días (esto dependió de la estructura y de la especie a procesar).

La estimación de la biomasa para el resto de los sitios de muestreo se estimó mediante relaciones alometrícas entre las variables de crecimiento y la cantidad de carbono capturado a partir de la siguiente ecuación (Zianis y Mencuccini, 2004).

Figura 3. A) Biomasa total en peso seco para nueve especies prioritarias del PANEC. B) Carbono obtenido con la regresión lineal para nueve especies prioritarias de PANEC.



La introducción de árboles maderables entre cultivos anuales o perennes entre 80 tC ha^{1}; el mejoramiento de bosques semidegradados hacia bosques de alta productividad entre 80 a 200 tC ha^{1}; la introducción de árboles forrajeros y de sombra en pastizales de 40 a 100 tC ha^{1}; la conservación y mejoramiento de suelos de 60 a 110 tC ha^{1}; el establecimiento de cercas vivas de 20 a 60 tC ha^{1}; la conservación de bosques naturales amenazados por la deforestación entre 150 a 300 tC ha^{1}. Dentro del presente estudio las cantidades de carbono de especies nativas dentro del PANEC, variaron de 370 a 36 kg de biomasa en peso seco por individuo, extrapolados a toneladas por hectárea, son resultados similares a estudios reportados para especies del matorral xerófilo (Prado *et al,* 1987) y tropicales (Brown *et al,* 1996), así como de especies prioritarias de estos ecosistemas (Mendez-Gonzalez *et al*., 2012).

La variable de peso fresco explica la biomasa total en peso seco. Para especies como *B. fagaroides, Eysenhardtia polystachya* y *S. polyantha*, las variables de respuesta en la ecuación de regresión lineal son: altura, DAP, peso fresco de hoja y de rama (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ecuaciones de regresión lineal para biomasa total por especie dentro del PANEC

Prosopis laevigata	PT=0.27523+PF*(0.7840+0.9629)
Celtis pallida	PT=-0.09352+PF[(1.0841)+(0.96880)]
Ipomoea murucoides	PT=1.04517+PF[(0.71133)+(0.72292)]
Acacia sp.	PT=0.19488+PF[(0.87740)+(0.85626)]
Karwinskia humboldtiana	PT=2.67322+(PF*1.00406)
Myrtillocactus geometrizans	PT=-8.01678+(PF*1.32979)
Bursera fagaroides	PT=-63.18754+(DAP*0.53166)+(h*14.92771)-(PFH*-24.81165)+(PFR*9.11294)
Eysenhardtia polystachya	PT=-6.27841+(DAP*0.01910)+(h*1.09469)-(PFH*-0.75520)+(PFR*1.74965)
Senna polyantha	PT=7.60398+(DAP*0.00380)-(h*-0.52886)-(PFH*-0.05913)+(PFR*0.63846)

La ecuaciones de regresión lineal estimadas para las nueve especies prioritarias dentro del PANEC, presentaron coeficientes de determinación elevados superiores a R^2=0.85, similares a varios estudios de especies de comportamiento caducifolio Cannel *et al.,* (1996).

IV Conclusiones

Se generaron y probaron modelos estadísticos para estimar biomasa aérea de nueve especies del Bosque Tropical Caducifolio y matorral xerófilo del municipio de Querétaro. Se ajustaron ecuaciones específicas para cada componente del árbol (hojas y ramas) y una ecuación general para estimar biomasa total para todas las especies encontradas dentro de la parcelas de muestreo.

Se realizaron los primero muestreos de capacidad de captura de carbono dentro del PANEC. Como parte de la estrategia de conservación de los servicios ambientales del parque y que puede ser extrapolada a diferentes zonas del semidesierto Queretano.

Currículum vitae autores:

Diego Bustos Ulloa. Biólogo en proceso de titulación por tesis en el campo de la neurobiología de peces; colaborador en el estudio con el nombre de "Ensayo de densidades de plantación en procedencias de *Yucca filifera* chabaud en jardín común." y en otros proyectos afines al Cambio Climático; participado en el congreso de Monitoreo de mamíferos marinos.

Adriana Morales Rangel. Pasante de la Licenciatura en Biología en proceso de titulación por trabajo de investigación en "Ensayo de densidades de plantación en procedencias de *Yucca filifera* Chabaud en jardín común". Colaborador en el curso propedéutico de admisión 2015-1 en la conducción de la práctica de "invertebrados". Estudiante de la Maestría en Ciencias Biológicas con el proyecto "Variabilidad climática e interacción con otros factores que afectan la dinámica poblacional de descortezadores en bosques amenazados de Querétaro, México"

Víctor Hugo Cambrón Sandoval. Profesor-Investigador de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Dr. en

ciencias biológicas, con maestría en ingeniería en tecnología de la madera y biólogo de profesión. Desarrolla diversos proyectos como "Variabilidad climática e interacción con otros factores que afectan la dinámica poblacional de descortezadores en bosques amenazados de México", Propuesta de rescate y manejo de vegetación nativa en un área de establecimiento de gasoductos dentro del estado de Querétaro. Ha publicado 10 artículos, seis indizados y cuatro arbitrados, con más de 20 participaciones en foros nacionales e internacionales.

María Concepción Ledesma Colunga. Lic. en Biología, Maestría en Recursos Bióticos (Universidad Autónoma de Querétaro); Impartición del Módulo "Recursos naturales de la Sierra Gorda" en el Diplomado para la Formación de Guía especializado en la Sierra Gorda queretana; publicación de "*The role of urban vegetation in temperature and heat island effects is Querétaro city, Mexico".* Participación dentro del Proyecto "Modelo integral para el desarrollo social a través del turismo cultural comunitario en la Sierra Gorda Queretana".

Referencias bibliográficas

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

Benjamín Ordóñez J. A. y Masera O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques. Vol. 7 (001): 3-12 p.

Brown S., Gillespie A. J. R. y Lugo, A. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. Forest Science 35: 881-902.

Brown, S. 1996. Los bosques y el cambio climático: el papel de ios terrenos forestales como sumideros de carbono. XII Congreso Mundial Forestal, Antalya, Turquía . 107-121.

Cannel, M.G. 1996. Forests as carbon sinks mitigating the greenhouse effect. *Commonwealth Forestry Review* 75(1): 92-99.

Calliez F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia a los trópicos. Estudio FAO: Montes, 22(1): 92 p.

Cambrón-Sandoval V. H., Suzán-Azpiri H., Sáenz-Romero C. y Sánchez-Vargas N. 2014. Desarrollo de *Pinus pseudostrobus* Lindl, bajo distintos ambientes de crecimiento en jardín común. Madera y Bosques. 20 (1). Aceptado.

Cambrón-Sandoval V. H., Suzán-Azpiri H., Vargas-Hernández J., Sánchez-Vargas N. y Sáenz-Romero C. 2013. Growth strategies and biomass distribution in *Pinus pseudostrobus* under different conditions of competition. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 36 (1): 71 – 79.

Castellanos F., J., A. Velázquez M., J.J. Vargas H., C. Rodríguez F., y A. M. Fierros G. 1996. Producción de biomasa en un rodal de *Pinus patula* Schl. *et* Cham. Agrociencia 30: 123-128.

Guevara-Escobar E. A., H. G. Bárcenas, M. F. R. Salazar, S. E. González y A. H. Suzán. 2005. Alta densidad de siembra en la producción de maíz con irrigación por goteo subsuperficial. Agrociencia. 39: 431-439.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Third assessment report-climate change, the scientific basis: summary for policy-makers. A report for working group I of the intergovernmental Panel on Climate Change. UNEP-WMO. P. 7.

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 [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jonsson J. and L. Eklundh. 2004. TIMESAT-A pro-

gram for analyzing time-series of satellite sensor data. Computers & Geosciences. 30: 833-845.

Méndez González J, Turlan Medina O. A., Ríos Saucedo J. C. y Nájera Luna J. A. 2012. All ometric equations for estimating aboveground biomass of *Prosopis laevigata. Rev. Mex. Cien. For. Vol. 3 Núm. 13.*(Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst.

Nobis M. and U. Hunziker. 2005. Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection. Agricultural and Forest Meteorology. 128. 243–250.

Prado, J., P. Infante, M. Amagada, S. Aguirre. 1987. Funciones de biomasa para seis especies arbustivas de la zona árida de Chile. *Ciencia e Investigación Forestal.* 1 (2), 11-20.

Rojas García F. y Villers Ruíz L. 2005. Comparación de métodos para estimar la densidad de la madera de *Pinus hartwegii* Lindl. del volcán La Malinche. Madera y Bosques. 11 (1): 63-71.

Rzedowski, J. y G. Calderon, 2013. Datos para la apreciación de la flora fanerogámica del bosque tropical caducifolio de México. Acta Botánica Mexicana 102: 1-23.

SAS Institute, INC. 2006. SAS / STAT Guide for Personal Computers, Version 6.03, Raleigh, North Carolina, USA. 1028 p.

Smith, T.M., W.P. Cramer, R.K. Dixon, R. Leemans, R.P. Neilson y A.M. Solomon, 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle. Water, Air and Soil Pollution 70, pp. 3-15.

WRI 2001. Evaluating carbon sequestration projects: A first attempt. World Resources Institute, Washington DC. Disponible en: www.wri.org.

Zianis D, Mencuccini M. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. For Ecol Manage 187:311–332.