

ALMACENAMIENTO DE CARBONO Y CAPTURA DE CO₂ COMO SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LA CUENCA DEL RÍO MUCUJÚN

Carbon storage and CO₂ capture like ecosystem services in the watershed of Mucujún River

GUSTAVO RAMÍREZ R., JOSE MÉNDEZ, EMILIO VILANOVA, NESTOR GUTIÉRREZ, JESUS ANDRADES, LUIS GÁMEZ, HIRMA RAMÍREZ-ANGULO, ARMANDO TORRES-LEZAMA

Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales.
Mérida, Venezuela

Recibido Enero 2016. Aceptado Julio 2016

Resumen

El objetivo de este estudio fue estimar el almacenamiento carbono y la captura de CO₂ como servicios ecosistémicos de la cuenca del río Mucujún a través de establecimiento de parcelas permanentes. Se realizaron pruebas de densidad de la madera para especies presentes en los bosques de la cuenca del río Mucujún. Se midió la biomasa aérea para individuos con diámetros ≥ 10 cm de $126,64 \pm 0,2731$ t ha⁻¹, permitiendo así estimar el carbono almacenado en $63,32 \pm 0,1365$ t ha⁻¹ y de captura de CO₂ $228,71 \pm 0,5009$ t ha⁻¹, valores que están dentro de los rangos en otros estudios.

Palabras clave: Servicios ecosistémicos, biomasa, almacenamiento de carbono, captura de CO₂, río Mucujún.

Abstract

Carbon storage and CO₂ capture and ecosystem services in the watershed of the Mucujún River were estimated through establishment of permanent plots. Measure of wood density for species in the forests of the river basin Mucujún was made. Biomass for individuals with diameters ≥ 10 cm 126.64 ± 0.2731 was achieved 0.2731 ton ha⁻¹, allowing estimate the carbon stored in 63.32 ± 0.1365 t ha⁻¹ and CO₂ capture 228.71 ± 0.5009 t ha⁻¹.

Keywords: Ecosystem Services, biomass, carbon storage, CO₂ capture, Mucujún River.

Introducción

Los Servicios Ecosistémicos (SE) o servicios ambientales (SA) constituyen aquellos

Gustavo Ramírez *et al.*

beneficios que la población obtiene de los ecosistemas, que pueden ser de dos tipos: directos e indirectos. Se consideran beneficios directos procesos como la producción de agua y alimentos (servicios de aprovisionamiento) o la regulación de ciclos como las inundaciones, degradación de los suelos, desecación y salinización, pestes y enfermedades (servicios de regulación). Los beneficios indirectos se relacionan con el funcionamiento de procesos del ecosistema que generan los servicios directos (servicios de apoyo), como el proceso de fotosíntesis y la formación y almacenamiento de materia orgánica, el ciclo de nutrientes, productividad primaria, entre otros. Los ecosistemas también ofrecen beneficios no materiales como los valores estéticos y espirituales y culturales o las oportunidades de recreación (servicios culturales) (MEA, 2.005).

Otra definición relacionada a los SE son los Servicios Ambientales (SA). De Groot *et al.*, (2.002), Fisher y Turner (2008) plantean que los bienes y servicios que las personas obtienen a partir de un entorno natural se conocen como servicios ambientales. Ante estos diferentes enfoques, Mora *et al.* (2.012) aclaran esta disyuntiva al plantear que el concepto de SE es el más extendido principalmente en la literatura relacionada con ecología, mientras que la literatura económica utiliza en mayor medida el término SA.

Justamente, la cuantificación de los SE se ha convertido en una barrera para la creación de mercados, por ello, este estudio busca estimar biofísicamente a través de algunos indicadores, dos SE de la subcuenca del río Mucujún, considerados como relevantes. El almacenamiento de carbono y la fijación de carbono de los bosques presentes en la subcuenca como SE global, estimado a través de la cuantificación de biomasa.

En relación a la estimación de carbono almacenado en los bosques tropicales, Vargas (2.007) hace mención que los mismos almacenan grandes cantidades de carbono que varían dependiendo de la cronosecuencia entre $21,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ hasta $153,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Malhi *et al.*, 2.004, Houghton, 2.005). Además, los ecosistemas tropicales se consideran cruciales en el ciclo global del carbono porque, entre otras cosas, el recambio de la materia orgánica es más rápido que en las regiones templadas (Trumbore, 1.997). Las zonas tropicales tienen un gran potencial para secuestrar carbono (Vieira *et al.*, 2.004, Chambers *et al.*, 2.001), mientras que las crecientes tasas de uso de la tierra fomentan la pérdida de carbono (Cairns *et al.*, 2.000). Los bosques tropicales estacionalmente secos son un tipo ampliamente distribuido en los trópicos, pero son el ecosistema tropical menos estudiado (Bullock *et al.*, 1.995). Además, existe una gran incertidumbre sobre el papel y la importancia de los bosques tropicales secundarios en el ciclo global del carbono (Bongers *et al.*, 2.015).

El objetivo de este estudio fue estimar el almacenamiento de carbono y la captura del CO_2 como servicios ecosistémicos de la cuenca del río Mucujún, a través de establecimiento de parcelas permanentes.

1. Materiales y métodos

Políticamente la subcuenca del río Mucujún pertenece a la parroquia Gonzalo Picón Febres, municipio Libertador del Estado Mérida, Venezuela (Figura 1) entre los $08^{\circ} 35'$

02''y 08° 40' 11'' latitud Norte y los 71° 00' 00'' y 71° 08' 00'' longitud Oeste (Dugarte y Arzubialde, 2.002).

La sub-cuenca del Río Mucujún está ubicada en el Municipio Libertador del Estado Mérida en los Andes venezolanos (Figura 2). Esta área es importante principalmente por el SE fuente de agua potable para la ciudad de Mérida, pero existen otras prestaciones que sirven como SE, verbigracia la captura de carbono, la recreación y el turismo, fuente de alimentos, entre otros, importantes para el desarrollo y conservación de la región.

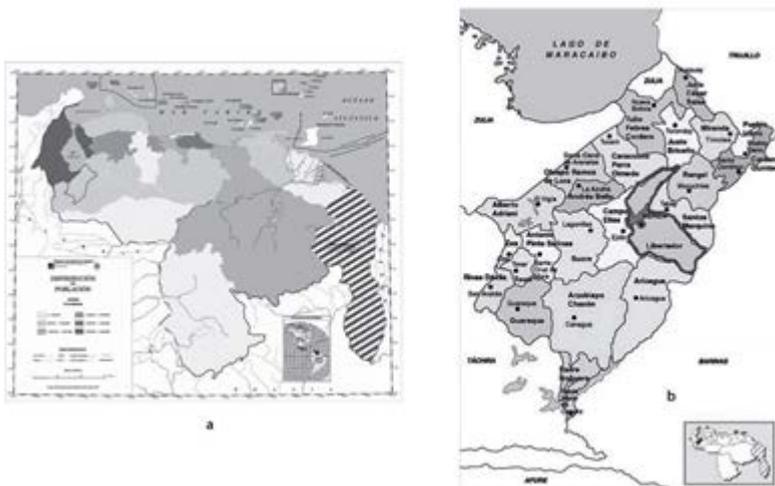


Figura 1. Ubicación relativa del Municipio Libertador. Fuente: Vilanova *et al.* (2.008)

La sub-cuenca del Río Mucujún, es un área estratégica de importancia para el Estado Mérida (principalmente para la ciudad de Mérida, el área metropolitana) y forma parte de la cuenca del Río Chama de los Andes Venezolanos (Vilanova *et al.*, 2.008). Figura 2.

Desde el punto de vista altitudinal varía desde los 1.500 metros sobre el nivel del mar (msnm) en la confluencia con el Río Chama hasta 4.400 msnm en el páramo de la Culata, con desnivel de 2.950 m (Araque y Montaner, 2.006). Esto permite la existencia de diferentes ecosistemas basados en los diferentes tipos de pisos climáticos, como son Piso Húmedo Macro-térmico, Piso Húmedo meso-térmico, Piso Paramero, Piso Nevado (Gavidia y León, 2.004). La temperatura media anual varía entre 12° C a 18° C y la precipitación promedio anual es de 1.200 mm a 2.000 mm.

En cuanto al uso actual de la tierra en la sub cuenca del Río Mucujún las áreas ubicadas por arriba de los 3.600 msnm no están intervenidas y permanecen con sus características de vegetación típicas para la zona de vida de páramo (Molina, 2.006; Gutiérrez *et al.* 2.013). Por debajo de esta altitud, en la cual se encuentran las zonas de acumulación del cuaternario a lo largo del fondo de valle, la cubierta vegetal ha estado sujeta a un proceso de sustitución por un uso agropecuario, aún en terrenos con fuertes pendientes el uso

residencial y turístico ha crecido desordenadamente. También se observa un mosaico de bosques secundarios en las laderas de mayor pendiente sobre 2.500 msnm (Molina, 2.006; Gutiérrez *et al.*, 2.013).

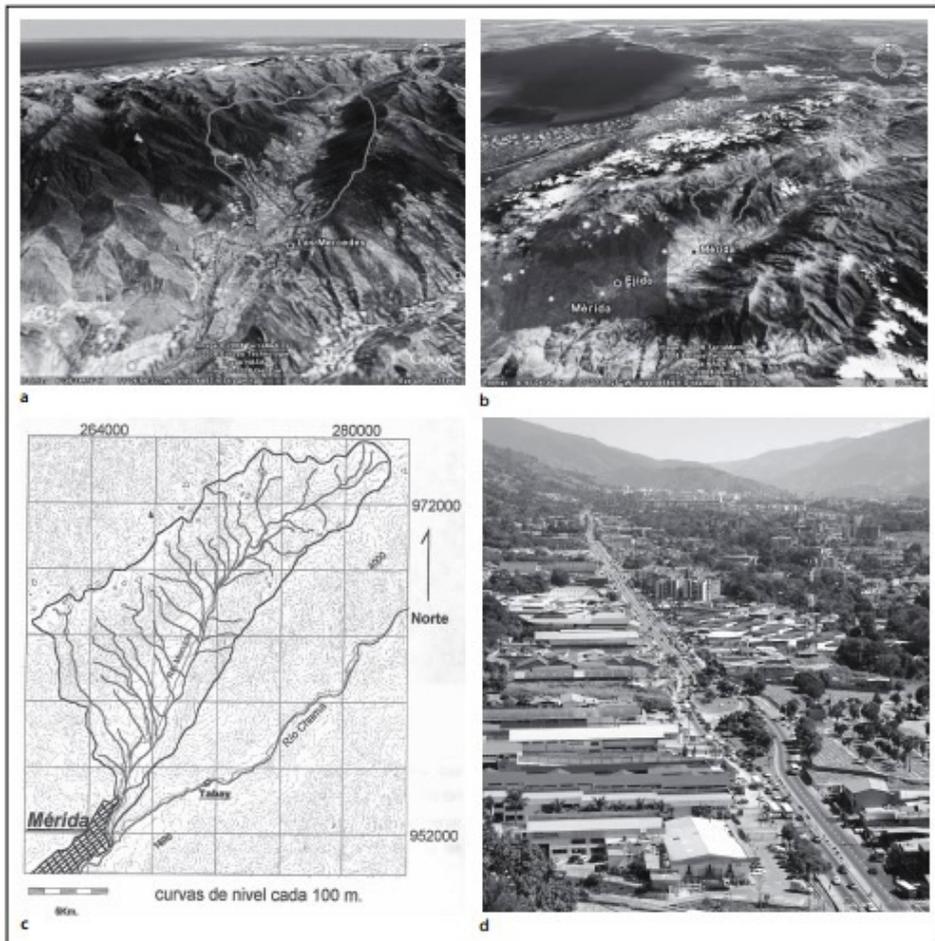


Figura 2. Vista parcial de la cuenca del río Mucujún: a) Sistema de la cuenca del Lago de Maracaibo; b) Delimitación de la subcuenca del Mucujún; c) Mapa topográfico de la subcuenca; d) Zona metropolitana de la ciudad de Mérida. Fuente: Vilanova *et al.* (2008)

El almacenamiento de carbono es un servicio ecosistémico considerado como servicio de regulación, específicamente de regulación del clima, aunque también puede ser considerado como servicio de regulación del ciclo biogeoquímico del carbono. Está relacionado con el término absorción, que es el proceso de aumento del contenido de carbono de un depósito de carbono que no sea la atmósfera. Desde un enfoque biológico incluye el secuestro directo de dióxido de carbono, que es el proceso de extracción del carbono o del CO₂ de la atmósfera y su almacenamiento en un depósito

mediante la fotosíntesis, el principal mecanismo de secuestro de carbono. Las bacterias fotosintéticas, las plantas y la cadena alimentaria, son consideradas como sumideros de carbono. Es por esta razón que una parte importante de la concentración de carbono almacenado se encuentra en los bosques naturales.

Un cambio en el uso del suelo que permita la reconversión de terrenos a usos forestales mitiga, desde el enfoque físico, la separación y eliminación del dióxido de carbono procedente de gases de combustión presentes en la atmósfera o del procesamiento de combustibles fósiles para producir fracciones con un alto contenido de hidrógeno y dióxido de carbono. Para la cuantificación del almacenamiento de carbono se realizan inventarios forestales en los cuales se toma en cuenta: atributos vegetales y atributos propios de las especies que bajo ajustes estadísticos se puedan expresar en t C ha⁻¹. Por esta razón, se procedió a seleccionar dos áreas estratégicas en la subcuenca del río Mucujún para el establecimiento de dos parcelas de estimación de biomasa.

Las dos unidades de muestreo seleccionadas fueron ubicadas en un área representativa de la subcuenca compuesta mayoritariamente, de acuerdo al mapa de vegetación del año 2.009, por comunidades de bosques secundarios. La parcela 1, ubicada en el sector El Playón Alto, vertiente izquierda de la quebrada la Cuesta, cuyas coordenadas geográficas son N 08°38'44,4'', W 71°07'44,1''; a una altura de 1.978 msnm. La parcela 2, en el sector Las Cuadras parte alta, Unidad productiva "La Romanera", cuyas coordenadas geográficas son N 08°41'19.1'', W 71°06'58.7'', a una altura de 2.550 msnm.

Las parcelas inventariadas tienen una superficie de 2.500 m² (50 m x 50 m). En cada una se establecieron 25 sub-parcelas de 100 m² (10 m x 10 m). En cada una se registraron y midieron todos los individuos de árboles mayores a 10 cm DAP. Cada individuo registrado fue numerado e identificado con placas y pintura, la identificación botánica la realizó Enrique Gámez, profesor de la Universidad de Los Andes, Cuadro 1. Se determinó la densidad de la madera de 13 especies arbóreas seleccionadas para ambas parcelas siguiendo la metodología de Chave (2.006). Se realizaron tres evaluaciones: muestras en verde, al horno y al aire.

Muestra en Verde: las muestras se depositaron en un recipiente con agua por un periodo de cuatro días para hidratar las muestras. Pasado el periodo de hidratación, se separaron del recipiente y se procedió a medir el peso (g) de cada muestra en una balanza con precisión de 0,01 g, luego se calculó el volumen (cm³) de la muestra introduciendo la muestra en un vaso de precipitado con agua, para conocer la densidad verde (ρ_v).

Muestra al horno: Las mismas muestras saturadas se introdujeron en estufa por un periodo de tres días, hasta peso continuo. Se pesó y midió el volumen, para obtener densidad al horno (ρ_h).

Muestra al aire: después de realizar el secado el horno se dejó reposando las muestras al aire por un periodo de tres días para medir el peso y luego volumen y determinar la Densidad seco al aire (ρ_a).

Cuadro 1. Especies identificadas y la densidad de sus maderas

Nombre vulgar	Familia	Nombre científico	Densidad madera (g/cm ³)
Arangure	Celastraceae	<i>Maytenus</i> sp.	0,7733
Algodón	Euphorbiaceae	<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng) Misll.	0,6195
Cinaro	Myrtaceae	<i>Calycolpus moritzianus</i> (O. Berg) Burret	0,9404
Manteco	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	0,8876
Fresno	Oleaceae	<i>Fraxinus uhdeivar. Pseudoperiptera</i> Lingelsh	0,7812
Pepeo	Anacardiaceae	<i>Rhusstriatum</i> Ruiz & Pav.	0,8301
Pino	Pinaceae	<i>Pinus oocarpa</i> var. <i>macvaughii</i> (Carvajal) Silbia	0,7870
Punta de lanza	Hypericaceae	<i>Vismia baccifera</i> subsp. <i>ferruginea</i> (Kunth) Ewan	0,7442
Surure	Myrtaceae	<i>Myrcia splendens</i> (Sw) DC. Benth,	0,7990
Mortiño	Melastomataceae	<i>Miconia tuberculana</i> (Naudin) Triana	0,8083
Cabo de hacha	Adoxaceae	<i>Viburnum tinoides</i> var. <i>Venezuelense</i> (Killip & A.C. Sm) Steyer	0,8452
Candilero	Boraginaceae	<i>Tournefortia bicolor</i> var. <i>calycosa</i> Donn. Sm.	0,5862
Copey ó tampaco	Clusiaceae	<i>Clusia multiflora</i> subsp. <i>scariosepala</i> Maguire	0,9384

La densidad de la madera se estima de la siguiente manera:

$$\rho = (\rho_v + \rho_h + \rho_a)/3$$

Para estimar la biomasa de las dos parcelas estudiadas en los bosques secundarios se utilizaron los modelos alométricos de Picard *et al.* que se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Modelos alométricos de Picard *et al.* (2012)

Criterio	Ecuación	Fuente
Con la altura del árbol (H) Bosques Estacionales de 1500 a 3500 mm/año (X1)	$(AGB)_{est} = \exp(-2,977 + \ln(\rho D^2 H)) \equiv 0,0509 * \rho D^2 H$	Chave <i>et al.</i> , 2005
Sin la altura del árbol (H), Bosques Estacionales de 1500 a 3500 mm/año (X2)	$(AGB)_{est} = \rho \exp(-1,499 + 2,148(\ln(D)) + 0,207(\ln(D))^2 - 0,0281(\ln(D))^3)$	
Sin la altura del árbol (H) Bosques Secos 1500 mm/año (X3)	$(AGB)_{est} = \rho \exp(-0,667 + 1,784(\ln(D)) + 0,207(\ln(D))^2 - 0,0281(\ln(D))^3)$	Chave <i>et al.</i> , 2005
Con la altura del árbol (H) Bosques Secos 1500 mm/año (X4)	$(AGB)_{est} = \exp(-2,187 + 0,916 \ln(\rho D^2 H)) \equiv 0,112 * \rho D^2 H$	Chave <i>et al.</i> , 2005

AGB= Biomasa del árbol expresada en kilogramos (kg); H = Altura total (m); D = Diámetro a la altura de pecho (cm); ρ = Densidad de la madera (g/cm³).

Almacenamiento de Carbono y captura de CO₂ como servicios ecosistémicos

Para la estimación del carbono se siguió la sugerencia del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático que exhorta, en caso de no hallarse datos específicos, utilizar el valor de 50 % de carbono (Kollmann, 1.959). Por lo tanto, el carbono almacenado en la biomasa aérea se calculó con la siguiente fórmula:

$$Ca = BM * 0,5$$

Donde Ca es el carbono almacenado, BM es la biomasa y 0,5 es el factor de carbono propuesto por Kollman

El CO₂ capturado se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$CO_2 = Ca * 3,67$$

Donde 3,67 es la relación entre el peso de la molécula de CO₂ y la de carbono.

2. Resultados y discusión

Se registraron 145 y 143 individuos en cada parcela, de los cuales hay 15 y 22 especies respectivamente, con 13 y 15 familias registradas, para un total de 28 familias y 33 especies entre ambas parcelas.

Para la estimación de biomasa se totalizó la biomasa producida en cada parcela y se promedió la biomasa por árbol, como lo muestran los Cuadros 3 y 4.

Cuadro 3. Biomasa producida en la parcela 1

Ecuación	Biomasa (t ha ⁻¹)	Biomasa Promedio (t ha ⁻¹ árbol ⁻¹)	Error estándar (t ha ⁻¹ árbol ⁻¹)
X1	71,75	0,49	0,06
X2	148,71	1,03	0,16
X3	78,36	0,54	0,06
X4	109,31	0,75	0,09

Cuadro 4. Biomasa producida en la parcela 2.

Ecuación	Biomasa (t ha ⁻¹)	Biomasa Promedio (t ha ⁻¹ árbol ⁻¹)	Error estándar (t ha ⁻¹ árbol ⁻¹)
X1	212,29	1,48	0,16
X2	263,15	1,84	0,18
X3	174,92	1,22	0,10
X4	211,36	1,48	0,14

Las ecuaciones X1 y X3 son las que poseen menor error estándar, sin embargo por las dificultades para medir altura y los errores en la medición de la misma, es más confiable

Gustavo Ramírez *et al.*

la ecuación X3

$$((AGB)_{est} = \rho \exp(-0,667 + 1,784 (\ln(D)) + 0,207(\ln(D))^2 - 0,0281(\ln(D))^3)).$$

Situación que se repite en la parcela 2, donde la ecuación X3 es la que posee el menor error.

Al tomar los valores producidos por la ecuación X3 en la biomasa total y promediar se obtiene una cantidad de biomasa de $126,64 \pm 0,2731 \text{ t ha}^{-1}$, con carbono almacenado de $63,32 \pm 0,1365 \text{ t ha}^{-1}$, al comparar estos resultados con estudios como los realizados por Uicab (2.012), se puede decir que supera los valores de biomasa aérea total promedio $44,58 \text{ t ha}^{-1}$, de $0,0027 \text{ t ha}^{-1}$. El estudio reportado por este autor no consideró la biomasa de arbustos, palmeras ni de lianas. Al comparar este trabajo con el realizado por Ramírez (2.015) encontraron valores similares: la biomasa aérea total promedio estimada por Ramírez es de $115,21 \pm 5,43 \text{ t ha}^{-1}$ y de carbono total aéreo promedio de $57,60 \pm 2,71 \text{ t ha}^{-1}$.

La captura de CO_2 $228,71 \pm 0,5009 \text{ t ha}^{-1}$, toma valores muy cercanos a los presentados por Ramírez (2.015) $211,41 \text{ t de CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ en los bosques medianos subcaducifolios del sur de la Península de Yucatán.

4. Conclusiones y recomendaciones

El almacenamiento de carbono es un SE de regulación. Las ecuaciones alométricas de biomasa ayudan a medir en forma indirecta este servicio ecosistémico; sin embargo, es necesario realizar estudios utilizando el método destructivo para generar una ecuación alométrica de biomasa propia para el sitio y así tener una estimación de biomasa de carbono almacenado y de CO_2 capturado con mayor precisión.

Los valores estimados de carbono aéreo almacenado representan una parte del carbono total almacenado de bosque en la cuenca del río Mucujún, falta realizar estudios de carbono almacenado en el suelo, en las raíces, materia orgánica y las micorrizas presentes en la cuenca.

Para efectos de estudios de dinámica del bosque son valores que pueden dar inicio a la construcción de series de tiempo que faciliten datos más confiables. A pesar que los resultados vienen de muestras pequeñas, los valores están dentro de los rangos obtenidos en otros estudios similares.

Es recomendable crear factores de corrección para la ecuación 3 (X3) sin la altura del árbol, para bosques secos, para futuros estudios en la cuenca del río Mucujún.

5. Referencias Bibliográficas

ARAQUE, M. y M. MONTANER. 2.006. Diagnostico socioeconómico de los centros poblados de las microcuencas “El Robo” y la “Boba”, Sub cuenca del Rio Mucujún, Municipio Libertador del Estado Mérida, con el propósito de promover alternativas de uso múltiple de la tierra. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Trabajo para optar al título de Ingeniero Forestal. Mérida. Venezuela.

Almacenamiento de Carbono y captura de CO2 como servicios ecosistémicos

- BONGERS F., R. CHAZDON, L. POORTER y M. PEÑA-CLAROS. 2015. The potential of secondary forests. *Sciencemag*. 348 p.
- BULLOCK, S. H., h. A. MOONEY y E. MEDINA. 1995. Seasonally dry tropical forests. Cambridge. University Press, Cambridge, Eng. New York, NY.
- CAIRNS, M. A.; I. OLMSTED, J. GRANADO y J. ARGAEZ. 2003. Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. *For. Ecol. Manag.* 186. 125–132.
- CHAMBERS, J. Q., N. HIGUCHI, E. S. TRIBUZY y E. TRUMBORE S. 2001. Carbon sink for a century. *Nature*, 410. 429-429.
- CHAVE, J. 2006. Medición de densidad de madera en árboles tropicales manual de campo. 04/18/2016, de pan-amazonia. Rainfor Sitio web: [http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/wood_density_spanish\[1\]](http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/wood_density_spanish[1]).
- CHAVE, J., C. ANDALO, S. BROWN, M. A. CAIRNS, J. Q. CHAMBERS, D. EAMUS, H. FOLSTER, F. FROMARD, N. HIGUCHI, T. KIRA, J. P. LESCURE, B. W. NELSON, H. OGAWA, H. PUIG, B. RIERA, y T. YAMAKURA. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87–99.
- DE GROOT, R. S., M. WILSON y R. BOUMANS. 2002. A typology for the description, classification and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41 (3), 393–408.
- DUGARTE S. y J. ARZUBIALDE. 2002. Plan de Ordenación Forestal en Plantación de Fresnos en San Javier del Valle Grande (Fe y Alegría) Mérida. Instituto San Javier del Valle, Mérida, Venezuela. 101 p.
- FISHER B. y R. K. TURNER. 2008. Ecosystem services: Classification for valuation. *Biological Conservation*, 141: 1167-1169.
- GAVIDIA, E- y Y. LEÓN. 2004. Levantamiento semidetallado de la vegetación y uso actual de la Cuenca del Río Mucujún, mediante imágenes ASTER 2004. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Trabajo de Pasantías para optar por el título de Ingeniero Forestal. Mérida. Venezuela. pp 14-17.
- GUTIÉRREZ B., N., S. GARTNER, J. LOPEZ, C. PACHECO y A. REIF. 2013. The recovery of the lower montane cloud forest in the Mucujún watershed, Mérida, Venezuela. *Regional Environmental Change*. n/a-n/a. DOI 10.1007/s10113-013-0413-y.
- HOUGHTON, R. A. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology*, 11. 945-958.
- KOLLMANN, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. *Vol. I*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid, España. 675p.
- MALHI, Y, T. R. BAKER, O. L. PHILLIPS, S. ALMEIDA, E. ALVAREZ, L. ARROYO, J. CHAVE, C. I. CZIMCZIK, A. DI FIORE, N. HIGUCHI, T. J. KILLEEN, S. G. LAURANCE, W. F. LAURANCE, S. L. LEWIS, L. M. M. MONTOYA, A. MONTEAGUDO, D. A. NEILL, P.N. VARGAS, S. PATINO, N.C.A. PITMAN, C. A.

Gustavo Ramírez *et al.*

- QUESADA, R. SALOMAO, J. N. M. SILVA, A. T. LEZAMA, R. V. MARTINEZ, J. TERBORGH, B. VINCETI y J. LLOYD. 2004. The above ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots. *Global Change Biology*, 10, 563-59.
- MEA (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT). 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, D.C.
- MOLINA, Y. 2006. Programa de educación ambiental para la cuenca del río Mucujún: una ventana de extensión universitaria. *Educere* [online]. Consultado el 10 de agosto de 2013. 10 (34): 471-481.
- MORA, V. R., F. SAENZ y J. F. LE COD. 2012. Servicios ambientales y ecosistémicos: conceptos y aplicaciones en Costa Rica. 13 (2). Consultado el 15 de agosto de 2013. <http://ictsd.org/i/news/puentes/132486/#respond>
- PICARD, N., L. SAINT-ANDRÉ y M. HENRY. 2012. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. Rome. Montpellier, 223 p.
- RAMÍREZ G., MARCO A. 2015. Estimación del carbono retenido en la biomasa aérea, en una selva tropical de Yucatán, México. Tesis de Maestría, CICY, Mérida, Yucatán. 111p
- TRUMBORE S., E. 1997. Potential responses of soil organic carbon to global environmental change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94, 8.284-8.291
- UICAB O., Y. 2012. Estimación de la biomasa aérea arbórea en un paisaje de selva mediana subcaducifolia en el sur del estado de Yucatán, Tesis opción Maestro en Ciencias Biológicas, opción Recursos Naturales, 1-89 p.
- VARGAS, R. R. 2007. *Carbon Dynamics in a Seasonally Dry Tropical Forest*. University of California Riverside. 186 p
- VIEIRA, S., P. B. DE CAMARGO, D. SELHORST, R. DA SILVA, L. HUTYRA, J. Q. CHAMBERS, I. F. BROWN, N. HIGUCHI, J. DOS SANTOS, S.C. WOFYSY, S. E. TRUMBORE y L. A. MARTINELLI. 2004. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. *Oecologia*, 140, 468-479.
- VILANOVA, E., A. TORRES y H. RAMÍREZ. 2008. Propuesta para la creación de un Bosque Modelo de la subcuenca del Río Mucujún, Venezuela, utilizando el enfoque de paisajes. *Revista Forestal Venezolana*. 52 (2): 159-171.