

La retención de carbono en plantaciones forestales. Estudio de caso: Empresa Forestal Integral “Cienfuegos”

The retention of carbon in forest plantations. Study of case: enterprise forest “ Cienfuegos “

Autores: Eber Pérez Ruiz*; Marta Bonilla Vichot

*Empresa Forestal Integral Cienfuegos. Calle 63 # 72A15 e/ 72 y 74 Pueblo Grifo. Correo electrónico:silvicultura@eimacf.cu Teléfonos 43 (552165) 2 Universidad de Pinar del Río. Martí 270 final. Pinar del Río. Cuba. Teléfono 48 (779661). Correo electrónico: mbon@af.upr.edu.cu

RESUMEN

El propósito de este estudio fue determinar la influencia de las plantaciones de la Empresa Forestal Integral “Cienfuegos”, de la provincia Cienfuegos, Cuba, en la absorción de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico por retención de carbono en la biomasa. El carbono retenido por la biomasa forestal en un área de 4 573,4 hectáreas se estimó tomando como base el volumen total de madera, las densidades de la madera de cada especie establecida en las plantaciones forestales, así como un factor de expansión de biomasa y el contenido medio de carbono en la madera. También se estimó la cantidad de CO₂ removido de la atmósfera. La vegetación acumuló, al término de 2009, 510584.5 t de carbono, para lo cual fueron absorbidas de la atmósfera 1872143.0 t de CO₂. La fijación de carbono fue entonces 111.64 t de carbono/ha. Los resultados indicaron que la masa forestal de la empresa es una reserva de carbono de importancia en la región y contribuye a atenuar las implicaciones del calentamiento global.

PALABRAS CLAVES: calentamiento global, fijación de carbono, remoción de CO₂.

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the influence of the plantations of the Integral Forest Company "Cienfuegos", of the county Cienfuegos, Cuba, in the absorption of atmospheric dioxide of carbon (CO₂) for retention of carbon in the biomass. The carbon retained by the forest biomass in an area of 4573,4 hectares was estimated based on the total volume of wood, the densities of the wood of each species settled down in the forest plantations, as well as a factor of expansion of biomass and the half content of carbon in the wood. It was also considered the quantity of removed CO of the atmosphere. The vegetation accumulated, at the end of 2009, 510584.5 t of carbon, for which /they were absorbed of the atmosphere 1872143.0 t of CO₂. The fixation of carbon was 111.64 t of carbono/ha then. The results indicated that the forest mass of the company is a reservation of carbon of a great importance in the region and it contributes to attenuate the implications of the global heating.

KEY WORDS: global heating, CO₂ absorption, carbon sequestration.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una de las amenazas más preocupantes para el medio ambiente global debido a su posible impacto negativo sobre la salud humana, la seguridad alimentaria, la economía, los recursos naturales y la infraestructura física (Eguren, 2004), citado por Ortiz *et al.* (2008).

Los procesos de deforestación y degradación forestal en los trópicos representan aproximadamente un 20% de las emisiones totales de CO₂ causadas por las actividades humanas. Por tanto, detener la deforestación tiene gran importancia para reducir y secuestrar emisiones de CO₂. Al mismo tiempo, son actividades que tienen múltiples ventajas para el desarrollo sostenible (Pedroni *et al.*, 2003).

Los bosques almacenan una gran cantidad de carbono, tanto en la vegetación como en los suelos, y tienen un papel muy activo en el intercambio de dióxido de carbono entre la biosfera y la atmósfera. Por estas razones, los bosques son vistos en la actividad forestal como una posibilidad de reducir las concentraciones de efectos de gases invernadero (GEI), así como un gran

potencial para aumentar la retención de carbono, de manera tal que contribuyan con la mitigación del cambio climático (Ajete *et al.*, 2012).

Los árboles en crecimiento renuevan sus partes permanentemente a través de la caída de hojas, ramas, flores, frutos, corteza, etc. Esta dinámica libera carbono, una parte del cual se incorpora a la atmósfera en forma de CO₂ y el resto queda fijado en el suelo en forma de humus estable. Paralelamente a este proceso, se produce un aumento en las dimensiones del árbol (crecimiento) que se realiza a partir de la acumulación de carbono. El balance entre el C acumulado en el árbol, como resultado de su crecimiento, y el liberado por el desprendimiento y descomposición de las ramas, frutos, corteza, etc., determina la fijación neta de C por el árbol. Esta característica de los bosques está adquiriendo cada vez mayor importancia, fundamentalmente, porque el 50% de la materia orgánica seca representa la cantidad de C fijado por el ecosistema forestal (Pece *et al.*, 2002).

Moura (2001) plantea que la fijación de carbono mediante la actividad forestal se basa en dos premisas: En primer lugar, el CO₂ es un gas atmosférico que circula por todo el planeta y, por lo tanto, las iniciativas dirigidas a eliminar gases de efecto invernadero (GEI) de la atmósfera tendrán la misma eficacia tanto, si se realizan cerca de la fuente de emisiones, como en el extremo opuesto del globo. En segundo lugar, las plantas absorben CO₂ de la atmósfera en el proceso de fotosíntesis y lo utilizan para sintetizar azúcares y otros compuestos orgánicos utilizados en el crecimiento y el metabolismo.

La importancia del sector forestal para disminuir la concentración de GEI de la atmósfera es destacada por Makundi *et al.* (1998), al plantear que el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y la aplicación de diversas medidas en el sector forestal podría secuestrar entre 1.1 Gt C y 1.8 Gt C al año, durante 50 años.

Actualmente la problemática del calentamiento global debido a la quema de combustibles fósiles cobra gran importancia. Según Vargas (2003), existen grandes posibilidades de la vegetación, en especial la tropical, en la captura de dióxido de carbono (uno de los principales gases de efecto invernadero) a través de la fotosíntesis. La vegetación puede desempeñar un importante papel en el cambio climático. Siendo así, se necesita del conocimiento de las

funciones del bosque en la regulación del clima para asegurar la implantación de medidas adecuadas de mantenimiento, particularmente válidos para la fijación y el almacenamiento de carbono.

El objetivo de este trabajo fue determinar la absorción de carbono de las plantaciones forestales en la Empresa Forestal Integral “Cienfuegos”, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos

La Empresa Forestal Integral Cienfuegos, ubicada en la provincia del mismo nombre posee patrimonio en los municipios de Lajas, Rodas, Palmira, Abreus, Cumanayagua y Cienfuegos, limita al norte con el río Hanábana y Provincia Villa Clara; al sur con el mar Caribe y Bahía de Cienfuegos; al este con la Provincia de Villa Clara y Santi Spíritus; al oeste con la Ciénaga de Zapata.

La temperatura media de la provincia fue de 23.3 °C. La humedad relativa media de la provincia es 80%. Los vientos predominantes son del noreste con gran influencia en el sector norte y oeste del territorio y sureste en el flanco sur y suroeste con influencia de salina en las zonas costeras, donde la media anual es de 9.9 km/h.

La precipitación media del periodo estuvo en 1457 mm. El relieve donde se desarrollan los bosques de la empresa está definido en tres zonas que son: la unidad Cumanayagua, que tiene una zona de premontaña con relieve ondulado y una zona de montaña ubicada en el macizo Guamuaya y, en el resto de las unidades, el relieve predominante es llano.

Los suelos predominantes en las zonas llanas son los suelos pobres ferralíticos rojos lixiviados de poca profundidad y de muy mal drenaje sobre todo, en las áreas de desarrollo. En la zona de montaña, los suelos son de mayor calidad y se clasifican como las segundas alturas del país, sobrepasando los 1 000 m s.n.m. cubiertas muchas de ellas, por bosques pluvisilvas de montañas. En esta zona, hay grandes pendientes y lugares de barranco.

Caracterización de la masa forestal de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos

La información de cobertura forestal fue obtenida por el Proyecto de Organización y Desarrollo de la Economía Forestal en la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

La Empresa Forestal Integral Cienfuegos cuenta con un patrimonio de 33 975.0 ha, distribuidas en cuatro unidades empresariales de bases.

Se destacan en el patrimonio forestal la presencia de nueve especies maderables (Tabla I) que presentan el mayor número de ha.

Tabla I. Principales especies forestales en plantaciones establecidas en la Empresa Forestal Integral Cienfuegos

Especie	Área relativa (%)
<i>Albizia sp</i>	4.62
<i>Casuarina sp.</i>	6.80
<i>Eucalyptus sp.</i>	53.94
<i>Talipariti elatum</i>	1.47
<i>Lysiloma bahamensis</i>	0.44
<i>Leucaena leucocephala</i>	0.36
<i>Pinus caribaea</i>	25.98
<i>Swietenia macrophylla</i>	3.16
<i>Tectona grandis</i>	1.19
<i>Otras especies</i>	2.04
<i>Total/Unidad</i>	100.00

Table I. Main forest species in plantations settled down in the Integral Forest Company Cienfuegos

En la empresa forestal se identificaron cinco tipos de formaciones forestales: bosque semicaducifolio sobre suelo ácido (sfc-a), bosque semicaducifolio sobre suelo calizo (sfc-c), pluvisilva de montaña, pinares y bosque de manigua costera. Predominando las formaciones de bosques semicaducifolio sobre suelo calizo y los pinares.

El 72% de las plantaciones está destinado, fundamentalmente, a la producción de madera, un 27% considerado como protector de agua y suelo, mientras que, el 0.9% es protector del litoral y el 0.1% es de recreación, según los datos correspondientes al proyecto de ordenación forestal.

Estimación del carbono secuestrado

Los métodos utilizados para la determinación del carbono retenido en la biomasa y el suelo fueron establecidos por (Nabuurs y Mohren, 1993, citado por Jara (2002) y Mercadet y Álvarez (2005).

Cálculo del carbono en la biomasa forestal

Para el cálculo del carbono en la biomasa se empleó la metodología establecida por Mercadet y Álvarez (2005). Antes de estimar la cuantía de carbono presente en la biomasa, fue necesario estimar la biomasa a partir del volumen maderable, tal y como se describe en la siguiente fórmula:

$$\text{BMF} = \text{Volumen [m}^3] \times (\text{Densidad [kg/m}^3] / 1000) \text{ [}^1\text{]}$$

Donde: BMF = Biomasa de los fustes (t)

Esta biomasa fue ajustada porque la biomasa comercial o biomasa de los fustes no considera la totalidad del árbol por encima y por debajo del suelo (ramas, follaje y raíces) por lo que fue necesario adicionar la biomasa restante mediante un factor de expansión de biomasa (FEB). El FEB es la proporción directa entre la biomasa aérea total (BT) y biomasa de fuste (BF). Se trata de un factor variable que depende de la especie arbórea, las condiciones ambientales, la densidad de plantación, el tipo de bosque y la edad de los individuos, entre otros aspectos. Este factor se utiliza para estimar la biomasa total de un árbol, cuando únicamente se cuenta con datos de biomasa del fuste (Salinas & Hernández, 2008).

$$\text{BMT} = \text{BMF} \times \text{FEB} \text{ [}^2\text{]}$$

Donde: BMT = Biomasa total (t)

FEB = Factor de expansión de la biomasa (Mercadet y Álvarez, 2005)

La biomasa, en un bosque, es el resultado de la diferencia, entre la producción a través de la fotosíntesis, y el consumo por la respiración, y procesos de cosecha (Bennaceur *et al.*, 2005).

La estimación del carbono retenido en la biomasa forestal se realizó utilizando el Factor de Contenido Medio de Carbono en la madera (FCMCM), mediante la siguiente expresión:

$$CR = BMT \times FCMCM \text{ [3]}$$

La fracción de carbono de la biomasa tiene un valor por defecto de 0,5; aunque en niveles metodológicos superiores hay un margen de variación en función de las especies, de los componentes de un árbol o de un rodal (tallo, raíces y hojas) y de la edad del rodal (IPCC, 2003) donde:

CR = Carbono retenido por la biomasa total (t)

FCMCM = Factor de contenido medio de carbono en la madera (0,45 para latifolias y 0,50 para pinos).

Estimación del CO₂ removido de la atmósfera

El CO₂ capturado por los árboles, se determinó partiendo del peso del carbono determinado por:

(Díaz y Molano, 2001), a través de la siguiente expresión:

$$CO_2 = C * kr \text{ [4]}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los bosques y la retención de carbono

Los pinares (Figura 1) constituyen la formación boscosa que mayor cantidad de carbono ha retenido en su biomasa, hasta el año 2009, con más de 358 mil toneladas. Le sigue el bosque semicaducifolio sobre suelo ácido que mostró un acumulado de más 101 mil toneladas, mientras que el resto de las formaciones boscosas tuvieron menos de 25 mil toneladas de carbono. Sin embargo, los bosques pluvisilva de montaña y semicaducifolio sobre suelos calizos forman un grupo bien definido que han retenido mayor cantidad de carbono que la manigua costera. Estos resultados se ven fuertemente influenciados por la superficie que ocupa cada una de las formaciones

estudiadas, aunque no se puede descartar que el hábito de crecimiento, las densidades de las maderas de las especies integrantes de cada ecosistema, en particular, y las condiciones edáficas, también influyen en la capacidad de retención de carbono de la vegetación como plantean (Díaz y Romero, 2001).

Figura 1. Distribución del carbono almacenado en la biomasa de las plantaciones forestales por formaciones boscosas en la Empresa Forestal Cienfuegos

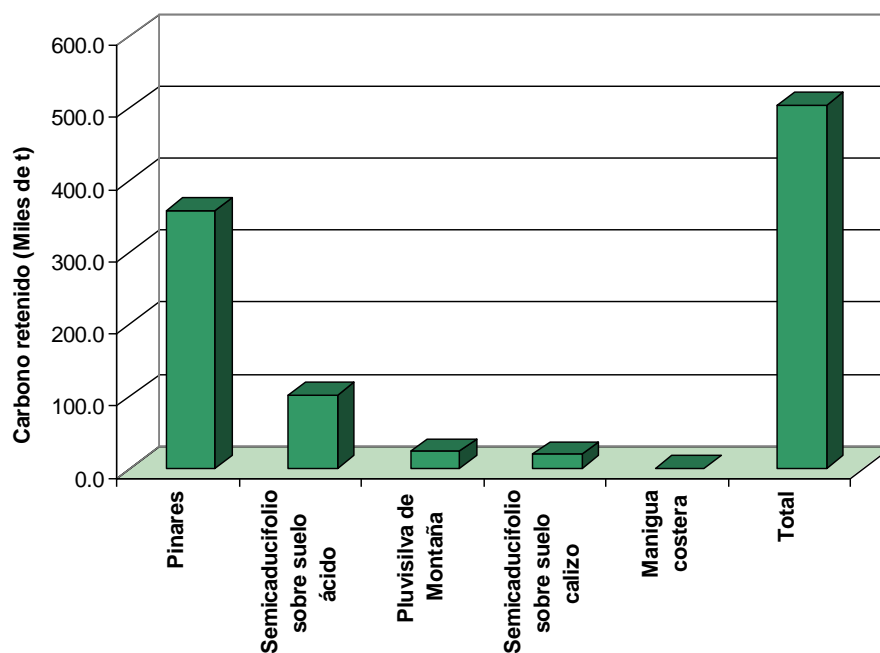


Figure 1. Distribution of the carbon stored in the biomass of the forest plantations by forest formations in the Forest Company Cienfuegos

Por otra parte, las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* son las que más carbono han retenido con 364 mil toneladas, aunque no son las de mayor extensión superficial con 1188ha, mientras que el resto de las plantaciones no rebasan las 311 hectáreas y las 15 mil toneladas de carbono, con excepción de las plantaciones de *Eucalyptus sp*, que es la que más área ocupa (Figura 2).

Las plantaciones de *Eucalyptus sp* almacenan solamente 41 t/ha de carbono debido a que estas se manejan, gran parte, por Monte Bajo o Tallar que se cortan generalmente con ciclos de 7 años; las otras dos con mayor retención y menor absorción son la *Casuarina sp* y la *Albizia sp*, y se puede argumentar

que presentan un crecimiento rápido, potencialmente superior, al resto de las especies integrantes de repoblados, y las superan también en área.

Figura 2. Carbono retenido en la biomasa de las plantaciones forestales de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos

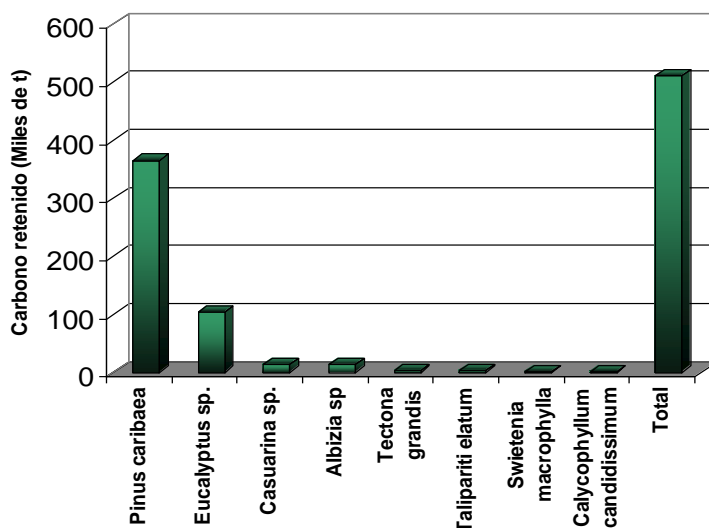


Figure 2. Carbon retained in the biomass of the forest plantations of the Integral Forest company Cienfuegos

Por lo tanto, las plantaciones de la Empresa Forestal Cienfuegos retienen 111.6 tC/ha por encima de los resultados obtenidos por Rodríguez, (2005) de 78,16 tC/ha en la EFI La Palma. También superan a los alcanzados por el plan de manejo (reforestación) del proyecto ambiental Tlalpan, en México, para la clase pino estimado en 79 t/ha Escandón (2002), mientras que Ajete *et al.* (2012) señala valores de 135,9 t/ha para la empresa Forestal Integral Guantánamo.

La mayor retención de carbono se debe a la especie de *Pinus caribaea* que ocupa gran parte del macizo montañoso de Guamuaya donde alcanza incrementos de 18 a 20 m³ por hectárea.

La biomasa de la vegetación forestal acumula actualmente 510584.1 t de carbono, lo cual representa el 0,00043% del carbono reservado en la vegetación forestal de América Tropical (119 x10⁹ t) según Brown (1996) y el 0.06% del total de carbono estimado por Álvarez *et al.* (2001), para los bosques de Cuba en el año 1997.

Contribución de la masa forestal a la remoción de CO₂ atmosférico

Brown (1996) destaca que la forma principal, por la que los bosques contribuyen a reducir efectos de cambio climático, es mediante su influencia en los niveles de CO₂ de la atmósfera, y por consiguiente, en el ciclo global del carbono. En este estudio se mostró que la fijación de CO₂, por las plantaciones de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos, contribuye a estabilizar los niveles de CO₂ en la atmósfera (Tabla II).

Tabla II. Retención de carbono y remoción de CO₂ por las plantaciones forestales en la Empresa Forestal Integral Cienfuegos

Especie	C en la biomasa (t)	CO₂ (t)
<i>Pinus caribaea</i>	364955,1	1338168,6
<i>Eucalyptus sp.</i>	103182,1	378334,4
<i>Casuarina sp.</i>	14648,6	53711,5
<i>Albizia sp</i>	14636,1	53665,7
<i>Tectona grandis</i>	2523,4	9252,5
<i>Talipariti elatum</i>	2453,3	8995,5
<i>Swietenia macrophylla</i>	1856,1	6614,7
<i>Calycophyllum</i>		
<i>candidissimum</i>	1648,2	6043,4
<i>Resto de las especies</i>	4681,2	17356,7
		1872
Total	510 584,1	143,0

Table II. Retention of carbon and removal of CO₂ for the forest plantations in the Integral Forest Company Cienfuegos

En esta tabla III se puede observar la superioridad de las plantaciones de pino con respecto a las demás para fijar carbono atmosférico, dado por la capacidad biológica intrínseca de ser una especie de crecimiento rápido, debido a su carácter heliófilo, no tolerante a la excesiva competencia y, además, por poseer en su biomasa grandes cantidades de lignina que la hacen mucho más promisorias para cumplir con el objetivo de secuestro de carbono, aunque las plantaciones de mayor extensión son las que deberían fijar más CO₂, pero como se ha señalado anteriormente, las plantaciones de *Eucalyptus sp.* son las

que más superficie ocupan, pero son las que menos carbono fijan, dado al manejo que se le realizan en las mismas. Por lo que es válido aclarar que la capacidad de absorción de carbono atmosférico, también está relacionado directamente con el manejo que se le da a la masa boscosa, la variación en el clima y el incremento del CO₂ atmosférico (Brown, 2002).

En este caso particular, donde se ha estimado la contribución de los bosques a la mitigación del cambio climático, se puede plantear que estos han secuestrado de la atmósfera 1872143, 0 t CO₂ en 4573.4 hectáreas, o sea, cada hectárea de las plantaciones forestales de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos ha contribuido a mitigar el exceso del dióxido de carbono en la atmósfera, absorbiendo 409 t CO₂.

CONCLUSIONES

- La biomasa forestal de las plantaciones forestales de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos constituye un importante reservorio de carbono en la provincia de Cienfuegos.
- Los resultados sugieren que la vegetación arbórea de las plantaciones forestales de la entidad en estudio ha contribuido a reducir la concentración de CO₂ en la atmósfera, con la absorción de, aproximadamente, 1.8 millones de toneladas del referido gas de efecto invernadero.
- La Empresa Forestal Integral Cienfuegos está prestando un servicio ambiental de vital importancia para la mitigación de los efectos del cambio climático y cuenta con potencialidades para su inserción en el mecanismo de desarrollo limpio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, A. et al. *Evaluación de las opciones de mitigación del cambio climático en el sector forestal cubano*. Instituto de Investigaciones Forestales. 2001.
- AJETE-HERNÁNDEZ, A. et al. Estimación del contenido de carbono en los bosques de la empresa forestal integral Guantánamo. *Revista Forestal Baracoa*, 2012, **31**(2), 3-8.

- BROWN, S. Papel actual y potencial de los bosques en el debate mundial sobre cambio climático. *Unasyuva*, 1996, **47**(185), 3-10.
- BROWN, S. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 2002, (116), 363-372.
- DÍAZ, L. y ROMERO, C. Manejo de bosques y captura de carbono: aspectos analíticos e implicaciones políticas. *Investigación Agraria: Sistemas y recursos Forestales*, 2001, (1), 153-165
- DÍAZ, S. X. y MOLANO, M. A. *Cuantificación y Valoración Económica de la Captura de CO₂ por Plantaciones del género Eucalyptus Establecidas por el Preca en las Cuencas Carboníferas de César, Valle del Cauca-Cauca y altiplano.Cundiboyacense*. IUFRO-RIFALC: Taller Internacional sobre Secuestro de Carbono, 16-20 julio. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela, 2001, p.18.
- ESCANDÓN, J. *Instituto Nacional de Ecología. Captura de carbono*. [en línea]. 2002, Disponible http://www.ine.gob.mx/dgicurg/cclimatico/ppiloto/ppiloto_4.htmlConsulta: 20 de enero del 2008).
- MAKUNDI, W. Los bosques tropicales en el Protocolo de Kyoto. *Actualidad Forestal Tropical*, 1998, **6**(4), 5-8.
- MERCADET, A. y ÁLVAREZ, A. *Metodología para el establecimiento de la línea base de retención de carbono por las empresas forestales de Cuba*. Inf. Final del Subproyecto 11.25.03. Programa Ramal de Medio Ambiente, MINAG, 2005, p.27.
- MOURA, P. La Convención sobre el clima y el mercado de las contrapartes de las emisiones de carbono basadas en las actividades forestales. *Unasyuva*, 2001, **52**(206), 34-40.

- ORTIZ, A., RIASCOS, L., SOMARRABA, E. Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería en las Américas*, 2008, (CR), 46, 26-29.
- PECE, M. G. et al. *Bosques y forestaciones como sumideros de carbono en el parque chaqueño* (en línea). AR. 2002, Consultado en 06 jun 2010. Disponible en
- <http://fcf.unse.edu.ar/ljorfor/pdfs/Bosques%20y%20forestaciones%20como%20sumideros%20de%20carbono%20en%20el%20parque%20chaque%F1o.pdf>
- PEDRONI, L.; PARRA, A.; ELSAM, R.; PENAYO, K.; RODAS, O. *Marco conceptual y diseño de un estudio de carbono para el área protegida de San Rafael*. Asunción, Guyra Paraguay: PY. CATIE, 2003.
- RODRÍGUEZ, J. y CORRALES, L. *Estimación de la cantidad de carbono almacenado y captado (masa aérea) en los bosques de la República de El Salvador PROARCA y CAPAS*. San Salvador, 1998.
- RODRÍGUEZ, J.L. *Estrategia de mitigación del cambio climático para la EFI La Palma*. Tesis de Maestría inédita en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río, 2005.
- RAMÍREZ Y GÓMEZ. Estimación y valoración económica del almacenamiento de carbono. *Revista Forestal Centroamericana*, 1999, (27), 17-22.
- SALINAS, Z.; HERNÁNDEZ, P. *Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía*. Turrialba, C.R: CATIE, 2008.
- SEGURA, M. *Estimaciones de carbono en ecosistemas forestales: los aportes de los modelos de biomasa*. CATIE. Curso Internacional, 2001.

- VARGAS, O. L. Desarrollo de evaluaciones multicriterio sociales en el cotival, zonas Los Mangos y Domingodó. *Crónica Forestal y del Medioambiente*, 2003, (18), 5-24.

Aceptado: 31/05/2015