

STOCK DE BIOMASA Y CARBONO EN UNA ZONA DEL CHACO OCCIDENTAL EN EL MUNICIPIO CORONEL MOLDES, LA VIÑA, SALTA

Silvina Manrique¹, Judith Franco², Virgilio Núñez³ y Lucas Seghezzo²

Instituto Nacional en Energías No Convencionales (INENCO); Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Instituto de Recursos Naturales y Medio Ambiente (IRNED), Facultad de Ciencias Naturales.

Consejo de Investigaciones de la UNSa. (CIUNSa).

Universidad Nacional de Salta. Avda. Bolivia 5150, A 4408 FVY Salta, Argentina.

Tel.: 0387-4255533 – E-mail: silmagda@unsa.edu.ar

RESUMEN

El bosque chaqueño es el ecosistema forestal más grande de Argentina y una de las áreas clave para conservación de la biodiversidad. Asimismo, es uno de los ambientes que registra mayor dinámica de cambio de cobertura del suelo. La degradación y deforestación de este ambiente resulta en la pérdida de numerosos bienes y servicios ecosistémicos, entre ellos, el secuestro de carbono. Este servicio ambiental ha cobrado gran relevancia como mecanismo de mitigación de emisiones antropogénicas de gases efecto invernadero, causantes del sobrecalentamiento global. En este trabajo se han estimado 105,45 tC/ha secuestradas por el bosque chaqueño, principalmente en la vegetación leñosa y el suelo (88% del total). Esto implica alrededor de 15.5 millones de toneladas de CO₂ evitadas en el municipio. La valorización de los bosques nativos en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio, representa una oportunidad para lograr la conservación y manejo sustentable de este ecosistema.

PALABRAS CLAVE: biomasa, secuestro de carbono, gases efecto invernadero, mecanismo de desarrollo limpio, bosques nativos, chaco.

INTRODUCCION

El cambio climático global y la negociación internacional

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), adoptada en 1992, compromete a los países alrededor del mundo a prevenir el peligroso cambio climático. El reporte del 2007 del IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio de Clima) sugiere que el incremento en la temperatura global no debe exceder 1.5 a 2 grados Celsius por arriba de los niveles pre-industriales, para evitar consecuencias desastrosas sobre el medioambiente y sobre el hombre. Esto requiere prevenir que la concentración de CO₂ -principal gas efecto invernadero (GEI) que en los países desarrollados explica alrededor del 81% de las emisiones- exceda las 450 p.p.m. y con el objetivo a largo plazo de retornar la concentración a 350 ppm por debajo del nivel actual (Flavin, 2008). Entre los efectos esperados, los principales serán el descongelamiento de los glaciares (provocando un aumento del nivel de los océanos), una mayor incidencia de enfermedades tropicales, la perturbación climática, la pérdida y migración de la biodiversidad, el acortamiento del ciclo de los cultivos, la anticipación de los periodos de siembra y cosecha agrícola y el aumento de riesgos de salinización de suelos e incidencia de plagas y malezas (Tsukamoto, 2003).

Por ende, la mitigación del cambio climático y la reducción de las emisiones de CO₂ requieren inevitablemente actuar en alguno de dos procesos: i) reducción de emisiones antropogénicas de CO₂, disminuyendo principalmente el uso de combustibles fósiles y empleando otras fuentes energéticas alternativas; o ii) creación y/o mejoramiento de los sumideros de carbono en la biosfera (por forestación, reforestación, manejo de bosques y control de deforestación) (Vine et al., 1999; IPCC, 2000; Kirschbaum, 2003; Baral y Guha, 2004). El manejo de la vegetación como sumidero de carbono, fue incluido en algunos artículos del Protocolo de Kyoto (PK), acuerdo firmado en 1997, que representa una considerable ampliación del alcance de la CMNUCC. En este protocolo se establecen compromisos jurídicamente vinculantes de reducción y limitación de las emisiones de GEI. Esto permite a las partes cumplir con sus objetivos de emisión neta a través de una combinación de limitaciones al uso de combustibles fósiles y creación de nuevos sumideros de carbono especificados dentro de las categorías propuestas (Kirschbaum, 2003).

El PK establece que los países industrializados deben reducir sus emisiones en 5.2% por debajo de los niveles observados en 1990, antes del periodo 2008-2012, época de contabilización de créditos de carbono o créditos de emisiones reducidas (CER) dentro del primer periodo de compromiso. A partir de esto, se creó una política de mercado de CER con vistas a reducir las emisiones de GEI. Dentro del PK fueron establecidos tres mecanismos de flexibilización para intentar viabilizar la reducción de emisiones de GEI en los países desarrollados, pertenecientes al Anexo I de la CMNUCC. La participación argentina se restringe a uno de esos mecanismos de flexibilización, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), con la posibilidad de generar beneficios sociales, ambientales y económicos al país. El objetivo del MDL es asistir a las partes no incluidas en el Anexo I para que contribuyan al objetivo de desarrollo sustentable y a las partes incluidas en el Anexo I a que cumplan el objetivo último de la CMNUCC de reducción de emisiones, asumidas en el artículo 3 del PK.

¹ Becaria Doctoral del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)

² Investigador Adjunto CONICET. Instituto de Investigación en Energía No Convencional (INENCO)

³ Director Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo (IRNED)

Secuestro de carbono por bosques nativos

IPCC (2000) define el secuestro de carbono como un incremento en los stocks de carbono en cualquier reservorio no atmosférico. El secuestro de carbono por los árboles desde la atmósfera es función del uso de la tierra, tiempo de crecimiento y progreso tecnológico y se efectúa mediante el intercambio de carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, llevando al almacenamiento en la biomasa y en el suelo (Almeida et al., 2004). El carbono cumple un papel fundamental en los procesos fisicoquímicos y biológicos del planeta a través del ciclo de carbono. Los procesos de captura y emisión de carbono son parte de un sistema de cuatro reservorios de carbono (vegetación aérea y radical, materia en descomposición, suelos, productos forestales) con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes y estrechamente interrelacionados. En general, el estudio de los bosques se ha realizado enfocándose en los árboles solamente, con vistas a su aprovechamiento comercial. Sin embargo, a partir de la consideración del cambio de clima y la importancia de los bosques como posibles sumideros de carbono, estos cuatro reservorios mencionados deben ser evaluados (Baral y Guha, 2004). Siguiendo a Callo et al. (2001) y otros (Snowdon et al., 2001), en la ruta fotosintética, el carbono es secuestrado en la biomasa y después parcialmente incorporado al suelo. Su cuantificación por tanto, se hace imprescindible en estos dos recipientes mayores. Por otra parte, el carbono de la biomasa estará constituido por el carbono arbóreo, arbustivo y herbáceo, y hojarasca sobre el suelo (Snowdon et al., 2001).

Actualmente, hay un considerable interés en Argentina y otros países del mundo en realizar estimaciones de biomasa y carbono, ya que el carbono retenido por un ecosistema es el 50% del valor de biomasa de ecosistemas terrestres (IPCC, 1996). Esas estimaciones son necesarias para satisfacer los requerimientos de la CMNUCC y el Protocolo de Kyoto, ya que los gobiernos deben reportar el estado de sus bosques nacionales. Uno de los mayores temas asociados con la inclusión de los bosques en el PK es su verificación como fuentes y sumideros (Winjum et al., 1998; Kueh y Lim., 1999; Specht y West, 2003). La obligación de informar, para los países en desarrollo incluye los inventarios nacionales, así como una “descripción general de los pasos tomados o planeados” y en la práctica incluye una sección sobre los programas de mitigación. Los inventarios de carbono de las emisiones antropogénicas (fuentes) y de la absorción (sumideros) de los GEI's deben ser realizados utilizando metodologías comparables (Snowdon et al., 2001).

Si bien mediante el MDL - único mecanismo posible de ser utilizado por los países en vías de desarrollo dentro del PK- sólo se consideran inversiones en proyectos de forestación, esto no resta validez a estudios realizados en bosques nativos, ya que es importante contar con información local e indicadores de las especies nativas para conocer el flujo de carbono en estos ecosistemas forestales así como para futuros compromisos de reducción de CO₂ atmosférico (Petre et al., 2000). Hasenkamp (1992, cit. in Baral y Guha, 2004) sugiere que el clima global podría ser *salvado* plantando un total de 500 millones de hectáreas de árboles, aún sin esfuerzos paralelos de minimizar las emisiones de carbono desde combustibles fósiles.

El trabajo de cuantificar el carbono fijado por un ecosistema puede ayudar en la toma de decisiones sobre la mejor forma de garantizar el máximo aprovechamiento, con respecto a la fijación del recurso C y la ganancia económica en los mercados emergentes de comercialización de créditos de C. Además de esto, puede garantizar el establecimiento de líneas de base consistentes y la determinación más precisa de adicionalidades⁴, transmitiendo la seguridad necesaria que todo proyecto de esta naturaleza debe presentar (Tsukamoto, 2003). Las mediciones de carbono tienen una adicional importancia en el marco de los acuerdos internacionales en materia de cambio climático, que requieren inventarios nacionales individuales de fuentes y sumideros de carbono (Brown et al., 1999; Noble y Scholes, 2001; Naughton-Treves, 2004).

Por tanto, el propósito del presente trabajo es aportar datos científicamente elaborados que coadyuven a la toma de decisiones e implementación de políticas en materia forestal en resguardo de los bosques nativos de la provincia de Salta, como viables sumideros de carbono. Para esto, se ha seleccionado el ecosistema de bosque chaqueño, mencionado como el más grande ecosistema forestal en el país en 1998 (SAyDS, 2004), presente en el departamento La Viña, provincia de Salta, con los objetivos de: i) estimar la biomasa del ecosistema, en sus componentes aéreo y subterráneo a partir de metodologías directas e indirectas; ii) cuantificar el carbono secuestrado en el bosque chaqueño y iii) proponer pautas de manejo que permitirían una mayor captura de carbono por parte del ecosistema.

MATERIALES Y METODOS

Área De Estudio

El área de estudio pertenece a la Provincia Fitogeográfica de Chaco (Cabrera, 1994). En este ecosistema las tierras bajas son parte del Distrito de Chaco Occidental mientras que las zonas serranas son parte del Distrito de Chaco Serrano. La vegetación dominante alterna con parches de tierras forestales secundarias y arbustivas en una matriz de tierras cultivadas. Se trata de un bosque estacionalmente seco con una estación lluviosa de verano, con un promedio de precipitaciones anuales de 500 mm. (Cabrera, 1994). Los suelos locales son profundos, de origen eólico y aluvional.

La zona de bosque chaqueño estudiada se localiza en las coordenadas geográficas 25° 16 '00" S y 65° 28 '60" O, con una altitud media de 1290 msnm, en el departamento La Viña, Municipio de Coronel Moldes, provincia de Salta. En general el ecosistema chaqueño del país, como así localmente, está siendo sometido a importantes procesos de deforestación y degradación, como ya ha sido muy bien documentado (Zak et al., 2004; Boletta et al., 2006; Gasparri et al., 2008). En el municipio en estudio, este ambiente se halla representado con alrededor de 40.000 has (Manrique et al, in press).

Diseño de muestreo

4 La adicionalidad es un requisito de todas las categorías de proyectos MDL. Demostrar adicionalidad es probar que las reducciones/remociones de CO₂ logradas por el proyecto no habrían ocurrido en su ausencia (IPCC, 2000).

Se realizó un muestreo aleatorio con un total de 26 parcelas rectangulares anidadas de 100 m² (20m x 5m) (Callo et al., 2001), conteniendo una subparcela de 50 m² (12.5m x 4m) y dos subparcelas opuestas de 1 m² (1m x 1m) cada una (Segura, 1999). En cada una de las parcelas trazadas se estudió uno de los reservorios de carbono mencionados en la Tabla 1, registrando en campo las variables de interés en cada caso: diámetro a la altura de pecho o DAP⁵ (cm); altura total (H, en metros); diámetro al ras del suelo⁶ (DAP₀, en cm); peso húmedo (PH, en gramos); carbono orgánico (CO, en %) y densidad aparente de suelo (DA, en g/cm³).

Reservorio y denominación	Parcelas	Rango	VARIABLES	Estimación
Árboles adultos (CLA)	100 m ²	≥ 10 cm DAP	DAP y H	Indirecta
Árboles jóvenes y arbustos (CLR)	50 m ²	≥ 3 y < 10 cm DAP y ≥ 50 cm altura	DAP, DAP ₀ , H	Indirecta
Hierbas (CHi)	1 m ²	Hierbas presentes en la parcela	PH	Directa
Hojarasca ⁷ (CHo)	1 m ²	< 10 cm DAP	PH	Directa
Raíces (CR)	100 m ²	Estrato subterráneo radicular	Peso seco	Indirecta
Suelo forestal (COS)	puntuales	Hasta 30 cm profundidad	CO y DA	Mixto

Tabla 1. Reservorios de carbono considerados y variables registradas para cada uno.

Las estimaciones *directas* de biomasa (Hierbas y Hojarasca), consistieron en la recolección destructiva del material en la parcela correspondiente, y su pesaje en húmedo. Posteriormente, dichas muestras fueron secadas en estufas a 80°C aproximadamente, hasta lograr peso constante.

Las estimaciones *indirectas* de biomasa se realizaron por medio de la aplicación de ecuaciones alométricas generales pertinentes para la zona y tipo de vegetación. El análisis de la información en otros estudios de biomasa (Verwijst y Telenius, 1999) sugiere que las ecuaciones alométricas estimadas para un amplio rango de especies forestales a lo largo del mundo, difieren poco en las pendientes o puntos de intercepción entre los diferentes modelos. Esto significa que puede ser posible aplicar modelos alométricos realizados para ciertas especies de árboles en alguna parte del mundo, para predecir satisfactoriamente la biomasa aérea de otras especies de otra zona del mundo (Specht y West, 2003). Dichas ecuaciones alométricas se aplicaron para la estimación de biomasa y carbono del estrato arbóreo aéreo leñoso (CAL, que incluye CLA y CLR) y las raíces (CR) (Tabla 2). Los árboles muertos en pie y caídos con DAP ≥ 10 cm, se midieron igual que un árbol vivo pero con un descuento de biomasa del 20% (Penman, 2003). En proyectos de fijación de carbono, las raíces son un componente importante, ya que comprenden entre 10 al 40% de la biomasa total (MacDiken, 1997). Por la complejidad de su muestreo, se estimaron indirectamente, aplicando la ecuación que figura en la Tabla 2. Se aplicó la ecuación para maderas duras, implicando un aporte de las raíces de más de 30% a la biomasa total del ecosistema.

Reservorio	Autor	Ecuación	VARIABLES
CAL	Chave et al. (2005)	$(3) BA = \rho \times \exp(-0,667 + 1,784 \ln(D) + 0,207(\ln(D))^2 - 0,0281(\ln(D))^3)$	Y= peso seco árbol (kg) D= DAP (cm) ρ=densidad básica (t/m ³)
CR	Kurz et al. (1996)	$BR = \exp^{0,359} \times BA^{0,639}$	BR= biomasa raíces (tMS/ha) BA=biomasa aérea (tMS/ha)
COS	Andrade e Ibrahim (2003)	$COS = \%CO \times da \times ps$	%CO= carbono orgánico (%) Da= densidad aparente (g/cm ³) Ps=profundidad de suelo (cm)

Tabla 2. Ecuaciones empleadas para estimación indirecta de C en biomasa leñosa aérea, biomasa de raíces y suelo.

En el caso del suelo, se evaluó el carbono orgánico total recolectando muestras compuestas formadas por cuatro muestras simples; y por dos muestras simples en el caso de la densidad aparente, utilizando el método del cilindro (MacDiken, 1997). Estas muestras se tomaron considerando un perfil de suelo de hasta 30 cm de profundidad, ya que el cambio de uso del suelo tiene el mayor efecto en las capas superiores (IPCC, 1996). El carbono del suelo se determinó por el método de Walkey y Black en laboratorio.⁸

La medición a campo de los diámetros se realizó con cinta dendrométrica y calibre forestal; las alturas totales fueron estimadas por un mismo observador, método de la vara graduada y uso del hipsómetro cuando fue posible; el diámetro de la copa fue estimado con cinta métrica y vara graduada, sobre la proyección horizontal; el material húmedo y seco fue pesado con balanza digital Systel Bummer con error ± 5 g. El muestreo se realizó en dos épocas distintas: seca (agosto-setiembre), y húmeda (febrero-marzo), si bien estimando que los cambios entre ambas no serían demasiado significativos (Brown, com.pers). Los muestreos de cada época se realizaron sobre parcelas diferentes, ya que no se buscaba establecer análisis comparativos entre épocas sino incluir las posibles variantes estacionales del chaco.

⁵ Por convención, a 1.3 metros desde el suelo.

⁶ Cuando no fue posible medir el DAP.

⁷ Considerando como tal a residuos orgánicos (hojas, ramas, frutos, semillas) depositados en la superficie de suelo (< de 10 cm dap)(MacDiken, 1997).

⁸ Laboratorio de Suelos, de Estación Experimental Cerrillos, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Generalmente se asume que la cantidad de carbono almacenado para diversos tipos de bosques naturales, bosques secundarios y plantaciones forestales se aproxima a un 50% para todas las especies (Brown y Lugo, 1984). Asimismo, las normas establecidas por el IPCC (1996), recomiendan utilizar 0.5 como fracción de carbono en materia seca en caso de no existir datos disponibles, por lo que se aplicó dicha proporción para las estimaciones de carbono.

RESULTADOS

La biomasa total del ecosistema chaqueño estudiado, se distribuye de la manera exhibida en la Figura 1. El mayor aporte a la biomasa del bosque chaqueño, lo realiza el estrato leñoso, con un total de 77%, considerando individuos adultos y regeneración. El estrato de raíces ocupa el segundo lugar de importancia en el aporte al total, seguido por hojarasca y finalmente, con una participación casi insignificante, el estrato herbáceo.

Entre las principales especies integrantes del estrato leñoso que fueron identificadas en la zona, se mencionan a: Quebracho banco (*Aspidosperma quebracho blanco Schltr*) (aunque con muy escasa presencia), chañar (*Geoffroea decorticans Burk.*), sombra de toro (*Jodina rhombifolia Hook et Arn*), algarrobo blanco (*Prosopis alba Grisebach*), algarrobo negro (*Prosopis nigra Grisebach*), horco quebracho (*Schinopsis haenckeana Engl*), mistol (*Ziziphus mistol Griseb*), acompañadas por brea (*Cercidium praecox (Ruiz y Pav.) Burkart*), carnaval (*Cassia carnaval Speg.*), guarán (*Tecoma Stans (l) Juus ex. HBK*) y varias especies de *Acacia spp*, *Capparis spp*, *Celtis spp.*, entre otras. El dosel superior mencionado para este ambiente (Brassiolo, 2005) formado por Quebracho Colorado (*Schinopsis quebracho-colorado (Schldl)F.Barkley y T.Mey*) y Quebracho blanco, prácticamente ha desaparecido.

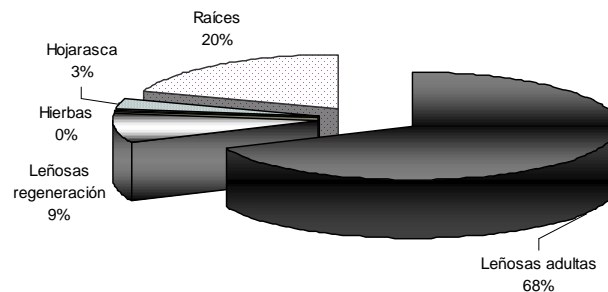


Figura 1. Contribución de cada estrato estudiado a la biomasa total del ecosistema.

En términos de carbono secuestrado por el ecosistema en el área de referencia, y considerando el aporte del suelo, se tiene un total de 105.45 tC/ha. En el municipio, existe por tanto, un potencial secuestro de carbono de alrededor de 4.2 millones de tC. La distribución del carbono secuestrado en cada uno de los componentes estudiados, incorporando el COS es como se observa en la Figura 2a.

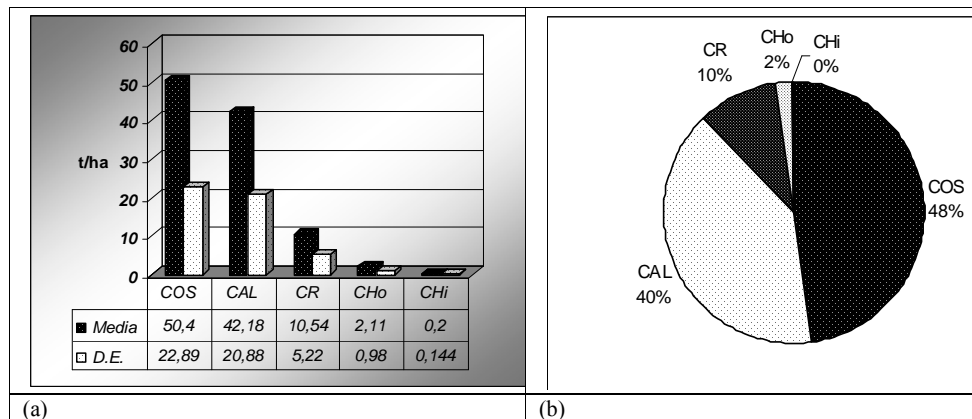


Figura 2. Toneladas de carbono por hectárea almacenadas en cada reservorio estudiado, mostrando el promedio y D.E. (a) y participación porcentual de los diferentes reservorios en el secuestro de carbono total del ecosistema (b).

El panorama cambia al observar la participación que realiza el suelo al secuestro total de carbono del ambiente. El primer lugar en importancia, lo ocupa precisamente el COS, seguido muy cercanamente por el secuestro realizado por el estrato leñoso aéreo (CAL, incluyendo individuos adultos y regeneración). Los valores porcentuales de colaboración al total se discriminan en la Figura 2b. El 47,8% del carbono se encuentra almacenado en el suelo, seguido por un 40% secuestrado en la sección aérea de la vegetación leñosa del sitio. Los otros reservorios estudiados, suman el 13% restante, con mayor peso para el carbono retenido en raíces (CR), seguido por el de hojarasca (Cho) y por último, un pequeño aporte del estrato de hierbas (CHi).

DISCUSION

Distribución de carbono en diferentes ecosistemas del mundo

Considerando las estimaciones de carbono de los mayores tipos de vegetación mundial (Figura 3) presentada por Houghton y Skole (1990), puede observarse que otros bosques semiáridos tipo sabanas del mundo presentan muy altos porcentajes de COS (alrededor de 72%) frente al secuestro de la vegetación leñosa aérea. Ajtj et al. (1979) menciona 110 t/ha para COS de sabanas. El bosque chaqueño estudiado se aproxima más a un bosque tropical seco en los resultados porcentuales obtenidos para el COS (47%), aunque la CAL es menor a la mencionada (tanto en valor porcentual como absoluto) por Houghton y Skole (1990). Otros estudios realizados en la región chaqueña occidental de Argentina (Abril y Bucher, 2001) muestran que el chaco occidental altamente restaurado es comparativamente rico en carbono en relación con otros suelos de sabana, con valores de COS de 70t/ha, y concuerdan con los valores dados por Houghton (1995) para bosques abiertos tropicales (64t/ha). Sin embargo, el COS medido en este trabajo es inferior a estos reportes.

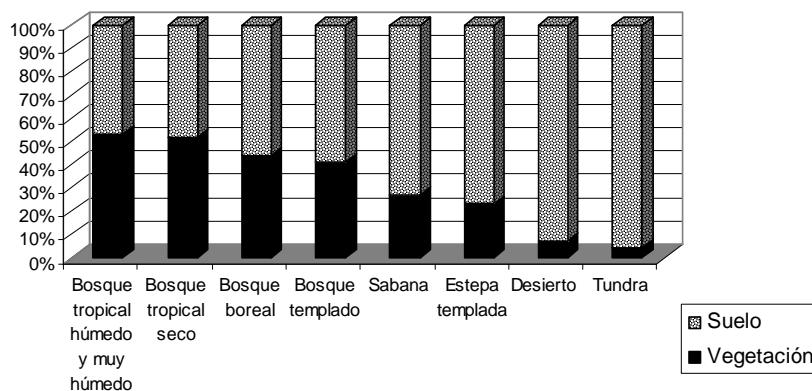


Figura 3. Stock de carbono en suelo y vegetación aérea leñosa para diferentes tipos de ecosistemas. Basado en Houghton y Skoles (1990).

El porcentaje de C secuestrado en hojarasca es similar a otras sabanas del mundo (Ajtj et al., 1979), y el de herbáceas, es prácticamente insignificante (Segura y Kanninen, 2002). El reservorio CAL, uno de los más importantes en la cuenta de la biomasa total, según lo reconoce la literatura (Brown, 1997), aparece inferior al estimado por otros autores en ambiente similares a éste (Jaramillo et al., 2003; Dauber et al., 2002; Gasparri y Manghi, 2004) aunque posiblemente, el nivel de degradación del área de estudio esté influyendo en estas diferencias. Aún así, probablemente las diferencias con respecto a esas estimaciones se ven disminuidas por la sobrestimación que puede ocasionar el estudio de biomasa a partir de un reducido número de parcelas, restringidas a un área específica (Brown y Lugo, 1992).

Principales factores que podrían contribuir a la liberación del C secuestrado

El almacenamiento de carbono en un área de tierra determinada puede oscilar entre ciertos límites superiores e inferiores. Cuando el stock de carbono alcanza un máximo potencial bajo características específicas de tipo de suelo y condiciones climáticas, no es posible un mayor almacenamiento de carbono. Sin embargo, el carbono almacenado podría aun ser perdido otra vez si los bosques fueran quemados o sucedieran otros disturbios, revirtiendo lo ganado. Esta situación podría ocurrir en la zona de estudio. Los principales reservorios de C del Chaco, COS y CAL, mantienen capturadas más de 90 tC/ha en el bosque chaqueño del municipio de Coronel Moldes. Sin embargo, factores como deforestación, quemas o incendios y conversión a campos de cultivo, operantes en el área, podrían liberar parte o totalmente el C capturado en la vegetación y en el suelo (Dixon et al., 1994; Houghton et al., 1999; Bardford et al., 2001).

Salta es una de las provincias con mayores niveles de deforestación del país. Según datos de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, entre 1998 y 2002 la superficie deforestada en la provincia fue de más de 194.000 hectáreas, mientras que entre 2002 y 2006 se duplicó la superficie desmontada, superando las 400.000 hectáreas. Gasparri et al. (2008) estimaron el promedio anual de emisiones de carbono entre 1996 y 2005, en bosques de Argentina en 20,875 Gg C/año y mencionan que el mayor aporte producto de la deforestación corresponde a la zona de chaco. Estos valores representan la mayor fuente de carbono desde cambios de uso de la tierra en el hemisferio sur extratropical, entre 0.9 y 2.7% de las emisiones globales de carbono desde la deforestación y aproximadamente un 10% de las emisiones de carbono desde la amazonia brasileña.

En base a las estadísticas de incendios forestales por región fitogeográfica de Argentina sólo del año 2007, se observa que el valor máximo corresponde a la región chaqueña, por lejos superior a las restantes en el país (Figura 4).

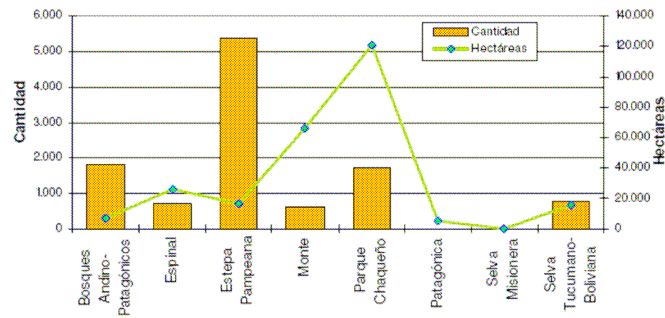


Figura 4. Número de incendios y cantidad de hectáreas perdidas por incendios forestales, según región fitogeográfica en Argentina en el 2007 (www.ambiente.gov.ar).

Los incendios en el bosque chaqueño en el 2007, fueron sólo un 3,57% por causas naturales, y el resto, debido a causas antrópicas (intencional, negligencia, otras), siendo afectadas más de 120.000 ha de bosque nativo, arbustales y pastizales. Por otra parte, Abril y Bucher (2001) mencionan que las pérdidas de COS debido al sobre-pastoreo y degradación forestal, en el chaco occidental, son mayores que aquellas que resultan desde la conversión de sabanas a cultivos agrícolas o pasturas. Por consiguiente, las vastas áreas afectadas por degradación en la región tienen un significado potencial como sumideros de carbono atmosférico, que deben ser consideradas en planes de manejo futuros.

De los impactos antrópicos sobre el almacenamiento de C mencionados, el más significativo es el que causa la deforestación. Houghton et al. (1999), afirman que las emisiones desde la deforestación en los trópicos es igual a cerca de la mitad de las emisiones desde combustibles fósiles. En Argentina, la deforestación, representa la segunda fuente de emisión después del consumo de combustibles fósiles (Gasparri et al., 2008). La degradación de bosques también libera carbono a la atmósfera cuando los productos removidos desde el bosque son quemados o descompuestos por los microorganismos. Por esto, la degradación debe ser incluida en los análisis sobre el flujo neto de carbono desde ecosistemas terrestres. Houghton et al. (2002) mencionan que cuando la degradación es incluida en los flujos de carbono desde los bosques, se obtienen valores de pérdida de carbono un 25% superiores que aquellos obtenidos solamente desde la deforestación. Algunas de las prácticas que pueden llevar a la degradación de los bosques -en términos de productividad, biomasa, estructura del bosque y composición de especies- son la recolección de combustibles leñosos, el pastoreo de bosques, la expansión de rutas y caminos, entre otros, aún sin cambiar el área forestal. El uso inadecuado de la tierra puede también degradar indirectamente las condiciones forestales por: introducción de pestes y patógenos, cambio en la disponibilidad de material combustible ignífugo, modificación de los patrones y frecuencia de ignición, y alteración de las condiciones meteorológicas locales.

Algunos factores que podrían contribuir a una mayor captura de C

En el caso de bosques sobremaduros, que son emisores netos de carbono, la captura puede aumentar a través de su rejuvenecimiento (Kirschbaum, 2003) Sin embargo, las características del bosque estudiado distan mucho de las de un bosque primario chaqueño, por lo que se estima que aún mayores niveles de C pueden ser secuestrados en el mismo. Esto puede favorecerse con la implementación de ciertas prácticas de manejo (Kraxner et al., 2003) y considerando la hipótesis de un marco político legal favorable a los bosques nativos en los próximos años.

Así por ejemplo, la restauración del COS en los suelos sobrepastoreados del chaco, podría realizarse mediante cerramientos que permitan el crecimiento no sólo del estrato gramíneo, sino también de plantas leñosas que favorecen la acumulación de formas estables de COS. Además, las plantas leñosas benefician el reemplazo del COS por proveer sombra que decrece la pérdida de carbono. Las diferencias en el stock de carbono entre tres comunidades con diferentes usos del suelo, fueron principalmente resultado de la biomasa de la vegetación, mientras que los cambios en el uso de la tierra tienen un menor impacto en los suelos (Abril y Bucher, 2001). Por tanto, es necesario estimular la producción de biomasa en el ecosistema, lo que puede lograrse con prácticas silvícolas de manejo del rodal como la eliminación de ejemplares muertos en pie, enfermos y caídos y reemplazándolos por especies nativas de valor comercial o ecológico (enriquecimiento forestal).

Investigaciones recientes sugieren que la calidad del manejo forestal puede hacer una contribución significativa en controlar los niveles de CO₂ en la atmósfera. Otras actividades de uso de la tierra que pueden contribuir a este fin son: rehabilitación de bosques, reforestación, silvopastoreo y agroforestería (Ruiz García, 2002).

Por otra parte, los bosques secundarios también contribuyen a la fijación de CO₂; su potencial para fijar carbono dependerá del potencial de la vegetación para desarrollarse y la tasa de producción de biomasa. En general, los bosques secundarios que se desarrollan en tierras utilizadas anteriormente para la actividad ganadera crecen más lentamente, quizás por la compactación y calidad de los suelos escogidos para la actividad ganadera o por efectos de la degradación y pérdida de fertilidad, que los bosques secundarios establecidos en tierras agrícolas con pocos años de uso, lo que repercute en la cantidad de biomasa y la capacidad para fijar carbono (Ruiz García, 2002). Sin embargo, con mayor o menor velocidad y capacidad, cualquier relicto de bosque puede contribuir al secuestro de C total.

Alternativas de valorización de bosques nativos dentro de CMNUCC y PK

Para el primer período de compromiso (2008-2012) estipulado por el protocolo de Kyoto, los proyectos orientados al manejo sustentable o a la conservación de bosques nativos no pueden aplicar al MDL. Sólo se consideran proyectos de plantaciones

comerciales (con especies exóticas o nativas). Sin embargo, existen intensas negociaciones para que sean incluidos en el próximo periodo (post 2012), por lo que los mecanismos de flexibilidad planteados en el PK, brindarían la alternativa de revertir el proceso de pérdida de bosque nativo en países en desarrollo, manifestando en los mercados el valor de los servicios ambientales globales prestados por dichos bosques. Diversos sectores sostienen que el MDL debería ayudar a consolidar (financiar) los sistemas de áreas protegidas y las tareas de restauración de bosque nativo degradado (Chidiak et al., 2005).

Los foros políticos globales y nacionales sobre cambio climático han identificado a la deforestación y degradación de los bosques como una importante fuente de emisiones de GEI y de acuerdo a esto, la preservación de los bosques existentes ha sido propuesta como una de las maneras para mitigar el cambio climático. Como resultado, la Reducción de Emisiones procedentes de la Deforestación y la Degradación de los bosques (REDD) en países en vías de desarrollo, ha emergido como un posible componente más del régimen de protección contra el cambio global, que se negociará para reemplazar al Protocolo de Kyoto, el cual termina en 2012 (SAyDS, 2009). La inclusión del concepto REDD a un régimen global de mitigación del cambio climático es un paso importante para lograr resultados significativos en los plazos apropiados, resaltando además que las reducciones de GEI del tipo REDD tienen otros atributos que aumentan su atractivo: representa una oportunidad para alcanzar otras metas globales como la reducción de la pobreza, adaptación al cambio climático y la conservación de la biodiversidad. Asimismo, en los países en vías de desarrollo y actualmente con altas tasas de deforestación, tiene el potencial de contribuir a lograr metas locales de desarrollo y ayudar a combatir la pobreza. La contabilización de carbono será útil, por ende, en el próximo periodo de compromiso del PK, que incluirá aspectos de manejo de bosques nativos.

En este marco, resulta necesario conocer el secuestro de carbono realizado por diferentes bosques nativos, no sólo para valorar este servicio ambiental en el marco de planificación de uso de la tierra y desarrollo sostenible, sino también para estimar cuánto sería el CO₂ liberado si estos bosques son clareados o eliminados. El Inventario de GEI de la República Argentina (año 2000) estima la emisión de GEI usando factores de emisión propuestas por el IPCC para quemas prescritas de sabanas, que por supuesto, distan mucho de la realidad, no sólo por el tipo de bosque que sólo en algunas zonas del país pueden considerarse sabanas –como en zonas chaqueñas-, sino también porque existen quemas de bosques accidentales o intencionales, que nada tienen que ver con las prescritas. Además, la estimación de las emisiones por quemas o deforestación del bosque, principal causa de pérdida de bosques en la región de chaco, han sido estimadas con un alto nivel de incertidumbre, debido, entre otras cosas, a la escasez de datos de densidad de biomasa aérea de los diferentes ecosistemas y su real aporte de carbono a la atmósfera (Fundación Bariloche, 2005).

CONCLUSIONES

La metodología empleada para estimar la biomasa y el carbono secuestrado en el ecosistema de chaco, adaptada de numerosos estudios en el tema, ha resultado relativamente sencilla y viable para la zona, permitiendo estimar el carbono potencial capturado. Los valores encontrados muestran una alta participación del suelo y del estrato aéreo leñoso como los dos principales reservorios, similar a otros ecosistemas de tipo sabana del mundo, aunque con contenidos de C inferiores.

E cuadro de situación actual de la captura de C del ecosistema chaqueño se ve amenazado por diversos factores que operan en la zona. Dado que el intercambio de carbono está influenciado por un gran número de factores que interactúan de manera dependiente, es difícil predecir lo que puede ocurrir en un ecosistema determinado. Sin embargo, se pueden discriminar, a grosso modo, algunos posibles focos de actuación que podrían coadyuvar a reducir las emisiones de C y lograr un mayor secuestro y por ende, a la mitigación del cambio climático global a partir de bosques nativos de la región chaqueña. Entre los principales factores para la zona se incluyen: la reducción y cese de la deforestación; prácticas de manejo silvícola que eviten la degradación de los bosques y promuevan un mayor secuestro de C por parte de la vegetación; control de pastoreo de la ganadería local; una sustancial expansión de reforestación y prácticas de enriquecimiento del bosque nativo; entre otros.

Los bosques juegan un papel crucial en el ciclo biogeoquímico de los elementos minerales necesarios para la vida, y el mantenimiento del equilibrio atmosférico global y proporcionan un sinnúmero de valiosos bienes y servicios a la sociedad. Sin embargo, la falta de remuneración de los servicios ambientales en los bosques, suponen una desventaja para la protección de los ecosistemas boscosos. La cuantificación del pool de carbono terrestre de estos bosques podría contribuir a dicha valorización en el marco de la metodología REDD estudiada con fines de aplicación en el nuevo periodo de compromiso estipulado por el Protocolo de Kyoto.

ABSTRACT

The chaco forest is the biggest forest ecosystem of Argentina and one of the key areas for conservation of the biodiversity. Likewise, it is one of the environments that registers major dynamics of change of coverage of the soil. The degradation and deforestation of this environment results in the loss of numerous goods and services of the ecosystem among them, carbon sequestration. This environmental service great relevancy has received as mechanism of mitigation of emission antropogenic of gases greenhouse effect, causers of the global overheating. In this work 105,45 tC/ha have been estimated sequestered by the chaco forest, principally in the woody vegetation and the soil (88 % of the whole). This involves 15.5 million tons of CO₂ avoided in the municipality. The appraisal of the native forests in the frame of the Mechanism of Clean Development, represents an opportunity to achieve the conservation and managing sustentable of this ecosystem.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se llevó a cabo en el marco de los proyectos 1345 y 1643 del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSA), y desarrollado con el soporte de una beca doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), otorgada a la autora principal del presente. Se agradece especialmente a Dra. Sandra Brown por los invalorable comentarios y sugerencias, para la realización de este trabajo. A los estudiantes de la carrera de

Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Salta, que colaboraron en las tareas de campo. A la Municipalidad de Coronel Moldes, por el apoyo logístico para las tareas en terreno.

REFERENCIAS

- ABRIL, A Y E.H. BUCHER. 2001. Overgrazing and soil carbon dynamics in the western Chaco of Argentina. *Applied Soil Ecology* 16, 243–249.
- ALMEIDA, A.C; LANDSBERG, J.J.; SANDS, P.; AMBROGIA, M.S.; FONSECA, S.; BARDDAL, S.M. Y P.J. SANDS. 2004. Needs and opportunities for using a process-based productivity model as a practical tool in Eucalyptus plantations. *Forest Ecology and Management* 193, 167–177.
- ANDRADE, H.J. Y M. IBRAHIM. 2003. Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas* Vol. 10 N°3 9 - 40.
- APEZTEGUIA, H.P.; IZAURRALDE, R.C. Y R. SERENO. 2009. Simulation study of soil organic matter dynamics as affected by land use and agricultural practices in semiarid Córdoba, Argentina. *Soil & Tillage Research* 102, 101–108.
- BARAL, A. Y G.S. GUHA. 2004. Trees for carbon sequestration or fossil fuel substitution: the issue of cost vs. carbon benefit. *Biomass and Bioenergy* 27, 41 – 55.
- BOLETTA, P.E.; RAVELO, A.C.; PLANCHUELO, A.M. Y M. GRILLI. 2006. Assessing deforestation in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management* 228, 108–114.
- BONINO, E.E. Y P.ARAUJO. 2005. Structural differences between a primary and a secondary forest in the Argentine Dry Chaco and management implications. *Forest Ecology and Management* 206, 407–412.
- BRACK, C.L. Y G.P.RICHARDS. 2002. Carbon accounting models for forests in Australia. *Environmental Pollution* 116:187–94.
- BRASSIOLO M. 2005. Propuestas Para La Conversión De Bosques Degradados. Los Bosques Del Chaco Semiárido . Facultad De Ciencias Forestales, Universidad Nacional De Santiago Del Estero. *Revista IDIA XXI*.
- BRAVO, S.; KUNST, C. Y R. GRAU. 2008. Suitability of the native woody species of the Chaco region, Argentina, for use in dendroecological studies of fire regimes. *Dendrochronologia*, Volume 26, Issue 1, Pages 43-52.
- BROWN, S.L.; SCHROEDER, P.; KERN, J.S. 1999. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management* 123:81-90.
- BROWN, S. y A.E. LUGO. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science* 223:1290-1293
- BROWN, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution* 116, 363–372.
- CABRERA, 1994. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Primera reimpression. Tomo II. Fasc.1. Editorial ACME S.A.C.I. Buenos Aires. 84 p.
- CALLO, D.C.; KRISHNAMURTY, L. Y J. ALEGRE. 2001. Cuantificación del carbono secuestrado por algunos safs y testigos, en tres pisos ecológicos de la amazonia del Perú. *Simpósio Internacional de Medición y Monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales*. Valdivia, Chile.
- CANELL, M.G.R. Growing trees to sequester carbon in the UK: answers to some common questions. *Forestry* 72: 237–47.
- CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; GODINHO, V.P.; CERRI, C.C. 2008. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil Tillage Res.* (2008), doi:10.1016/j.still.2008.10.022
- CHIDIAK, M.; MOREYRA, A. Y C. GRECO. 2004. Captura de carbono y desarrollo forestal sostenible en la Patagonia argentina. *Sinergias y Desafíos*. Banco Interamericano de Desarrollo Departamento de Desarrollo Sostenible. División de Medio Ambiente. 88 p.
- DEL CASTILLO, E.M. (Ed.), 1998. *Evaluación de crecimiento y producción de Quebrachales de quebracho blanco*, Salta. P.I.A., No. 7144. Universidad Nacional de Salta, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Salta, Argentina.
- DIAZ-HERNANDEZ, J.L.; BARAHONA FERNANDEZ, E. Y J. LINARES GONZALEZ. 2003. Organic and inorganic carbon in soils of semiarid regions: a case study from the Guadix–Baza basin (Southeast Spain). *Geoderma* 114, 65– 80.
- FEARNSIDE, P.M. 1995. Global Warming Response Options In Brazil's Forest Sector: Comparison Of Project-Level Costs And Benefits. *Biomass and Bioenergy* Vol. 8, No. 5, pp. 309-322.
- FINEGAN, B.; SABOGAL, C.; REICHE, C. Y HUTCHINSON, I. 1993. Los bosques húmedos tropicales de América Central: su manejo sostenible es posible y rentable. *Revista Forestal Centroamericana*, N° 6, año 2. Turrialba, Costa Rica, 11p.
- FLAVIN, C. 2008. *Low-Carbon Energy: A Roadmap*. WORLDWATCH REPORT 178. Worldwatch Institute, 2008
- FUNDACIÓN BARILOCHE. 2005. *Inventario nacional de la republica Argentina, de fuentes de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero, no controlados por el protocolo de Montreal*. Tomo I. <http://www.fundacionbariloche.org.ar/2cn.htm>.
- GALAZ MONTERO, I.M. 2004. *Caracterización Del Sistema De Producción De Carbón De Espino Acacia Caven (Mol.) Mol*, En La Comuna De Pumanque, Vi Región. Universidad De Chile. Facultad De Ciencias Forestales. Escuela De Ciencias Forestales.
- GASPARRI, N.I. Y E. MANGHI. 2004. Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono en las regiones forestales argentinas. http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UMSEF/File/volumen_biomasa_carbono.pdf.
- GASPARRI, N.I.; GRAU, H.R. Y E. MANGHI. 2008. Carbon Pools and Emissions from Deforestation in Extra-Tropical Forests of Northern Argentina Between 1900 and 2005. *Ecosystems* 11: 1247–1261.
- GONG, W.; YAN, X.; WANG, J. Y; HU, T.Y Y. GONG. 2009. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat–maize cropping system in northern China. *Geoderma* 149, 318–324.
- HOUGHTON, J.T., MEIRA FILHO, L.G., LIM, B., TREANTON, K., MAMATY, I., BONDUKI, Y., GRIGGS, D.J., CALLENDER, B.A. (Eds.), *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, volume 3: Reference Manual*. International Panel of Climate Change (IPCC). Available at: www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6d.htm.

- HOUGHTON, R.A. 1991. Releases of carbon to the atmosphere from degradation of forests in tropical Asia. *Can. J. For. Res.* 21(1): 132–142
- HOUGHTON, R.A.; LEFKOWITZ, D.S. Y D.L. SKOLE. 1991. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985 I. Progressive loss of forests. *Forest Ecology and Management* 38, Issues 3-4, 143-172
- HOUGHTON, R.A.; SKOLE, D.L. Y D.S. LEFKOWITZ. 1991. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985 II. Net release of CO₂ to the atmosphere. *Forest Ecology and Management*, Volume 38, Issues 3-4, 173-199.
- IPCC. 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change. Report of the twelfth session of the intergovernmental panel on climate change. Reference manual and workbook of the IPCC 1996 revised guidelines for national greenhouse gas inventories. Mexico City, 11 D 13 september 1996.
- IPCC. 2000. Intergovernmental Panel on Climate Change. Special Report: Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Hayama, Kanagawa. Japan.
- IPCC. 2005. Carbon Dioxide Capture and Storage. Special Report. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Published for the IPCC. Cambridge, University Press. Canada. 443p.
- KIRSCHBAUM, M.U.F. 2003. To sink or burn? A discussion of the potential contributions of forests to greenhouse gas balances through storing carbon or providing biofuels. *Biomass and Bioenergy* 24, 297 – 310
- KLAUS VON GADOW; TIMO PUKKALA; MARGARIDA TOMÉ. FOREST MENSURATION. *Managing Forest Ecosystems*-volume 13. In: Anthonie van Laar y Alparslan Akça. 2007 Springer. Dordrecht, The Netherlands.
- KUEH, R. J. H. Y M. T. LIM. 1999. Forest biomass estimation in Air Hitam Forest Reserve. <http://www.geocities.com/EnchantedForest/Palace/1170/biomass.html>.
- KURZ, W.A.; BEUKEMA, S.J.; APPS, M.J. 1996. Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the Canadian forest sector. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 1973- 1979.
- LANDSBERG, J.J. Y R.H. WARING. 1997. A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology and Management* 95, 209–228
- LEONARD Y LOCATELLI. 2001. CARBONE ACCUMULÉ. BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES, N° 267 (1).
- LEVINE, J.S. 2000. Global Biomass Burning: A Case Study of the Gaseous and Particulate Emissions Released to the Atmosphere During the 1997 Fires in Kalimantan and Sumatra, Indonesia. In: *Biomass Burning and its Inter-Relationships with the Climate System*.
- LOPEZ DE CASENAVERA, J.; PELOTTO, J.P. Y J. PROTOMASTRO. 1995. Edge-interior differences in vegetation structure and composition in a Chaco semi-arid forest, Argentina. *Forest Ecology and Management* 72, 61-69.
- MACFARLANE, D.W. 2008. Potential availability of urban wood biomass in Michigan: Implications for energy production, carbon sequestration and sustainable forest management in the U.S.A. *Biomass and Bioenergy*, doi:10.1016/j.biombioe.2008.10.004
- MACDICKEN, K.G. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Forest Carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development. 91 p.
- MICKLER, R.A.; EARNHARDT, T.S. Y J.A. MOORE. 2002. Regional estimation of current and future forest biomass. *Environmentl Pollution* 116, S7-S16.
- MOSNAIM, A. 2001. Estimating CO₂ abatement and sequestration potentials for Chile. *Energy Policy* 29, 631-640.
- NAKICENOVIC, N.; GRUUBLER, A.; ISHITANI, H.; JOHANSSON, T.; MARLAND, G.; MOREIRA, J.R.; ROGNER, H.H. Energy primer. In: Watson RT, Zinyowera, MC, Moss RH, editors. *Climate change 1995: impacts, adaptations and mitigation of climate change: scienti=c-technical analyses*. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. p. 75–92.
- NAUGHTON-TREVES, L. 2004. Deforestation and Carbon Emissions at Tropical Frontiers: A Case Study from the Peruvian Amazon. *World Development* Vol. 32, No. 1, pp. 173–190.
- NOBLE, I. Y R.J. SCHOLE. 2001. Sinks and the Kyoto Protocol. *Climate Policy*. Volume 1, Issue 1:5-25.
- OELBERMANN, M.; VORONEY, R.P. Y A.M. GORDON. 2004. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104, 359–377.
- OLSCHEWSKIA, R. Y P.C. BENITEZ. 2005. Secondary forests as temporary carbon sinks? The economic impact of accounting methods on reforestation projects in the tropics. *Ecological Economics* 55, 380–394.
- PEÑA-CLAROS, M.; FREDERICKSEN, T.S.; ALARCÓN, A.; BLATE, G.M.; CHOQUE, U.; LEAÑO, C.; LICONA, J.C.; MOSTACEDO, B.; PARIONA, W.; VILLEGAS, Z. Y F.E. PUTZ. 2008. Beyond reduced-impact logging: Silvicultural treatments to increase growth rates of tropical trees. *Forest Ecology and Management* 256, 1458–1467
- PENMAN J, GYTARSKY M, HIRAISHI T, KRUG T, KRUGER D, PIPATTI R, BUENDÍA L, MIWA K, NGARA T, TANABE K, WAGNER F. 2003. Good Practice Guidance For Land Use, landuse change and forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- PETRE, A.; KARLIN, U.O.; ALI, S. Y N. REYNERO. 2000. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas. Argentina Banco Mundial - N4085-AR Proyectos de Investigación Aplicada a los Recursos Forestales Nativos (PIARFON). Alternativas de sustentabilidad del bosque nativo del Espinal. Área Captura de Carbono.
- PFUFF, A.; KERR, S.; FLINT HUGHES, R.; LIU, S.; SANCHEZ-AZOFEIF, A.; SCHIMEL, D.; TOSI, J.Y V. WATSON. 2000. The Kyoto protocol and payments for tropical forest: An interdisciplinary method for estimating carbon-offset supply and increasing the feasibility of a carbon market under the CDM. *Ecological Economics* 35, 203–221
- RENDON-CARMONA, H.; MARTINEZ-YRIZAR, A.; BALVANERA, P.; PEREZ-SALICRUP, D. 2009. Selective cutting of woody species in a Mexican tropical dry forest: Incompatibility between use and conservation. *Forest Ecology and Management* 257, 567–579.
- SAYDS. 2004. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.
- SANDS, P.J. Y J.J. LANDSBERG. 2002. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. *Forest Ecology and Management* 163, 273–292.
- SCHLESINGER, W.H. 2000. Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82, 121–127.

- SEBASTIANI, M.; LLAMBI, L.D.; MARQUEZ, E., PAPADAKIS, G.; RAMOS, R.; STOLK, M.; VILLARO, M.; VIZOSO, B.; ALVAREZ, H.; J. MOSTACERO. 1998. Methodology To Incorporate Eia In Land-Use Ordering—Case Study: The Cataniapo River Basin, Venezuela. *Environ Impact Asses Rev*;18:327–350.
- SEGURA, M. 1999. Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el área de Conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. Tesis Mag.Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica .115 p.
- SEGURA, M. Y M. KANINNEN. 2002. Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. (202-212) In: Orozco L., Brumér C. Eds. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Serie Técnica, Manual Técnico No. 50. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 264 p.
- SNOWDON, P. Et al. 2001. Protocol For Sampling Tree And Stand Biomass. National Carbon Accounting System Technical Report No. 31. The Australian Greenhouse Office. 114 p.
- SOLIZ SAUCEDO, B.G. 1998. Valoración económica del almacenamiento y fijación de carbono en un bosque subhúmedo estacional de Santa Cruz, Bolivia. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- SPECHT, A. Y P.W. WEST. 2003. Estimation of biomass and sequestered carbon on farm forest plantations in northern New South Wales, Australia. *Biomass and Bioenergy* 25, 363 – 379.
- TAN, Z.; LIU, S.; TIESZEN, L. Y E.TACHIE-OBENG. 2009. Simulated dynamics of carbon stocks driven by changes in land use, management and climate in a tropical moist ecosystem of Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 130 (2009) 171–176
- TSUKAMOTO, A.A.F. 2003. Fixação De Carbono Em Um Sistema Agroflorestal Com Eucalipto Na Região Do Cerrado De Minas Gerais. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, para Doctor Scientiae. Minas Gerais – Brasil. 111p.
- UNFCCC. 1997. The Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change, UNEP/WMO, 1997.
- VERWIJST, T. Y B. TELENIUS. 1999. Biomass estimation procedures in short rotation forestry. *Forest Ecology and Management* 121, 137-146.
- VINE, E.; SATHAYE, J. y W. MAKUNDI. 1999. Guidelines for the Monitoring, Evaluation, Reporting, Verification, and Certification of Forestry Projects for Climate Change Mitigation. Environmental Energy Technologies Division. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. U.S. Environmental Protection Agency through the U.S. Department of Energy under Contract No. DE-AC03-76SF00098. 125p.
- WAHLUND, B.; YAN, J. Y M. WESTERMARK. 2004. Increasing biomass utilisation in energy systems: A comparative study of CO2 reduction and cost for different bioenergy processing options. *Biomass and Bioenergy* 26, 531 – 544.
- WINJUM, J.K.; BROWN, S.; SCHLAMADINGER, B. 1998. Forest harvests and wood products: sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. *Forest Sci* 44:272–84.
- ZAK, M.R.; CABIDO, M. Y J.G. HODGSON. 2004. Do subtropical seasonal forests in the Gran Chaco, Argentina, have a future?. *Biological Conservation* 120, 589–598.