

BOSQUES NATIVOS: ¿BIOENERGIA O SECUESTRO DE CARBONO?

S. Manrique¹ y J. Franco²

Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta – Avda. Bolivia 5150, A 4408 FVY Salta, Argentina
Tel.: 0387-4255533 – E-mail: silmagda@unsa.edu.ar

Recibido: 28/07/12; Aceptado: 24/09/12

RESUMEN: Los bosques nativos tienen un rol fundamental en la mitigación del cambio climático, dado que la deforestación y degradación de biomasa significa cerca del 20% del total de emisiones mundiales de gases efecto invernadero (GEI). El objetivo del presente trabajo fue analizar las alternativas de empleo de los bosques nativos del municipio de Coronel Moldes, departamento La Viña, provincia de Salta, a fin de maximizar la mitigación de GEI considerando dos principales estrategias: i) su potencial como reservorios de carbono y ii) su potencial como fuente de combustible renovable. Si bien parecerían dos estrategias contradictorias, los resultados demuestran que ambas pueden ser combinadas adecuadamente posibilitando no sólo obtener resultados concretos en la mitigación de GEI, sino también lograr beneficios extras en la provisión de bienes y servicios generados por los bosques a partir de sus funciones ecosistémicas naturales.

Palabras clave: bioenergía, bosques nativos, cambio climático, carbono, mitigación.

1. INTRODUCCIÓN

Las principales causas del aumento de la concentración de los gases efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, se encuentran en la actividad humana, altamente intensiva en el empleo de combustibles fósiles (cuya quema significa cerca de un 70% de las emisiones globales de CO₂) (McKeown y Gardner, 2009). Sin embargo, la matriz energética mundial es un 81% dependiente de estos combustibles (BP, 2008). El IPCC ha fijado la meta de estabilización de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera en 550 ppm (IPCC, 2001), para que los peores riesgos del cambio climático sean sustancialmente reducidos, evitando que la temperatura media global suba por encima de 2°C. Esto implicaría que hacia el 2050 las emisiones anuales deberían ser 25% inferiores al nivel actual (Stern, 2007).

El segundo sector de mayor importancia en la emisión de GEI antropogénicos, lo constituye el sector de “silvicultura”, con cerca de un 18% del total de emisiones, que incluye deforestación y degradación de biomasa. Y es aquí donde se vislumbran las principales posibilidades de mitigación de GEI, que según opiniones diversas (Baral y Guha, 2004; Robledo y Blaser, 2008), serían las estrategias menos costosas, de más veloz ejecución, y con beneficios múltiples (Stern, 2007; Singh, 2008). Los ecosistemas boscosos, como importantes reservorios de carbono, juegan un importante papel en el balance de carbono global (Dixon et al., 1994; Adams y Piovesan, 2002; Achard et al., 2002; Houghton, 2005) y pueden ser empleados para mitigar las emisiones de GEI mediante tres estrategias distintas (IPCC, 1996; Baral y Guha, 2004; Fang et al., 2007): i) reducción de las emisiones de deforestación y degradación de los bosques; ii) incremento del secuestro de carbono en bosques nuevos y existentes (el IPCC -2001- define el secuestro de carbono como un incremento en los stocks de carbono en cualquier reservorio no atmosférico) y iii) sustitución de combustibles fósiles por empleo de biomasa.

Las dos primeras medidas implican el secuestro directo de carbono, ya que los árboles toman el CO₂ atmosférico durante la fotosíntesis y lo fijan en los tejidos para la producción de partes leñosas y no leñosas (ramas, tallos, raíces, follaje y raíces finas) (Kyrby y Potvin, 2007). Dado que aproximadamente el 50% de la biomasa de un bosque es carbón (IPCC, 1996), estimar la biomasa permite conocer la cantidad potencial de carbono que puede ser liberada a la atmósfera como CO₂ cuando el bosque sea clareado o quemado (Segura y Kanninen, 2002; Hiratzuka et al., 2005; Lufafa et al., 2008). La tercera medida, que podría ser combinada con cualquiera de las anteriores en un arreglo óptimo de estrategias, permitiría cubrir demandas energéticas locales, a la par que se satisfacen objetivos de reducción de emisiones y de preservación de funciones ecosistémicas (Thornley y Cannell, 2000; Kraxner et al., 2003; Kirschbaum, 2003). El Informe Stern (2007) sostiene que la conservación de bosques, reforestación, forestación y manejo sustentable de bosques puede significar cerca de un 25% de la reducción de emisiones necesarias para combatir efectivamente el cambio climático. Para el 2030, las reducciones graduales de deforestación, combinado con una constante forestación y manejo de los bosques, se espera que reduzcan las emisiones netas en 6.8 GtCO_{2eq} por año, la mitad de cuyo potencial de mitigación puede ser logrado para el 2020, especialmente en los países en desarrollo, lo cual traerá otros beneficios sociales y ambientales (Robledo y Blasser, 2008).

Sin embargo, la cuantificación de emisiones y remociones desde actividades de cambio de uso de la tierra y silvicultura (CUSS) –en donde se incluyen los bosques- es una tarea compleja (Hohne et al., 2007). El amplio rango de estimaciones

¹ Investigadora Post-doctoral del CONICET.

² Investigadora Adjunta del CONICET.

existentes de las emisiones globales de carbono desde el sector forestal refleja las dificultades en obtener información precisa sobre la biomasa y los cambios que ocurren en las áreas forestales (Defries et al., 2002; Houghton, 2005; Keith et al., 2009). Esto resulta de fundamental importancia en la medida en que la deforestación y degradación de bosques son dos fenómenos de gran impacto a nivel mundial (Dixon et al., 1994; FAO, 2001; Houghton, 2005). Estudios detallados a nivel de país y regiones son necesarios para mejorar las estimaciones de las emisiones de carbono del sector forestal, y trabajar para limitar las emisiones globales de GEI (Maser et al., 1997). Esta información también es necesaria para el mejor entendimiento de la distribución espacial de la biomasa y carbono, uso del suelo y régimen de fuego, entre otros (Keith et al., 2009).

La biomasa natural de la provincia -bosques nativos y su oferta anual de material leñoso-, podría realizar un aporte en ambos sentidos mencionados: reservorio de carbono y reducción de emisiones por sustitución de combustibles fósiles por biomasa. Sin embargo, en concordancia con la situación mencionada a nivel mundial, la información disponible sobre el potencial de mitigación de los bosques nativos nacionales y provinciales es muy limitada, lo cual es significativo en la medida en que la deforestación representa una fuente importante de carbono a nivel de país (Gasparri et al., 2008) y en la provincia, la tasa de deforestación supera el promedio mundial. En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue analizar las alternativas de empleo de los bosques nativos del municipio de Coronel Moldes, departamento La Viña, provincia de Salta, considerando su potencial como reservorios de carbono y como biomasa factible de ser empleada como fuente de energía renovable, en la búsqueda de estimar las máximas emisiones de GEI que podrían ser evitadas.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Área de estudio

El municipio de Coronel Moldes pertenece al departamento La Viña, el cual integra, junto a otros seis departamentos de la provincia de Salta –incluido el departamento capital-, lo que se denomina Valle de Lerma. Este municipio posee una superficie de 840 km² y una población de 4.194 habitantes en el año 2001 (INDEC, 2001). Más del 40% de los hogares registran NBI (Necesidades Básicas Insatisfechas). La altitud del municipio varía entre los 1.100 y 1.200 metros sobre el nivel del mar. El clima es templado serrano y las precipitaciones varían entre los 400 y 600 mm anuales, con una fuerte concentración de las mismas entre los meses de diciembre y marzo. La temperatura media, resultante de registros de 10 años, es de 17,9 °C y la precipitación promedio llega a los 428 mm por año (FUNIF, 1997; Cutuk y Piacentini, 2004).

2.2. Diseño metodológico

2.2.1. Estimación de biomasa de bosques nativos y especies forestales

Se estudiaron tres de los principales ecosistemas del municipio: Yungas, Chaco y arbustales (Manrique et al., 2011). El estudio del stock de carbono de dichos ecosistemas se realizó a partir de un muestreo estadístico aleatorio, consistente de 69 parcelas de 100 m² cada una (Figura 1), conteniendo sub-parcelas destinadas a evaluar diferentes reservorios: estrato aéreo leñoso (BAL), estrato arbustivo (BEA), estrato herbáceo (BEH), estrato de hojarasca (BEH), estrato radicular (BSR) y suelo. Las parcelas estuvieron distribuidas de la siguiente manera: 2600 m² en Chaco; 2300 m² en Yungas y 2000 m² en arbustales. Las categorías de BAL fueron dos: i) “regeneración” o BAL₀ (con ≥ 1 cm dap y altura ≥ 50 cm y <10 cm dap), que se midió en la sub-parcela de 50 m² y ii) “adultos o BAL₁₀, con dap ≥ 10 cm. La BAL se refiere en este trabajo a la cantidad total de materia orgánica viva aérea de árboles y arbustos (≥ 1 cm dap y altura ≥ 50 cm), expresada como toneladas de peso seco por hectárea (Brown, 1997; Bonino, 2006). Los árboles muertos en pie con dap ≥ 1 cm, y los árboles caídos con dap ≥ 10 cm fueron medidos en el mismo modo que los árboles vivos. Sin embargo, se aplicó un factor de corrección de biomasa de 0,8 a los resultados obtenidos (Penman et al., 2003). La biomasa de cada estrato se determinó empleando métodos directos e indirectos, y posteriormente se calculó el carbono contenido, aplicando un factor de carbono de 0,5. Este factor presupone que el contenido de carbono en la biomasa es aproximadamente el 50% de esta última (IPCC, 1996). Para el cálculo de bioenergía disponible anualmente se utilizaron valores promedio de incremento medio anual (IMA) y de poder calorífico inferior (PCI), mencionados en la literatura (consultar mayores detalles metodológicos en Manrique et al., 2011).

El segundo estudio realizado se enfocó sobre cuatro especies representativas del ambiente de arbustales: *Acacia aroma*, *A. caven*, *A. furcatispina* y *A. praecox*. El diseño de muestreo fue de tipo aleatorio, y consistió en el trazado de 15 parcelas de 100 m² cada una. Para cada uno de los individuos de interés se registraron: dap, altura total, altura hasta la primera rama de 2,5 cm, número de pies/fustes por árbol, número de individuos por parcela. Se conformaron muestras compuestas de tejido vegetal de cada especie por parcela, a partir de las cuales se realizaron determinaciones físicas, químicas y termoquímicas (ver Manrique et al., 2009). La bioenergía anual disponible se calculó utilizando un valor de PCI promedio de las cuatro especies, y un valor de IMA teórico.

2.2.2. Relevamiento del estado actual de los ecosistemas

Siguiendo a Montenegro et al. (2005) se relevaron de manera sistemática, para cada una de las 69 parcelas trazadas a campo para estudio de biomasa, algunos signos de degradación de los ecosistemas, fácilmente identificables como: extracción de madera (EM), extracción de leña (EL), pisoteo o ramoneo de ganado (G), quemadas (Q) y otros signos de presencia humana (O) (basura y desperdicios humanos, objetos desechados, vías de saca, sendas, picadas, etc.). Se estimó el número de parcelas afectadas por alguno/s de los signos de degradación mencionados, como así la frecuencia de aparición por ambiente, de cada uno de ellos.

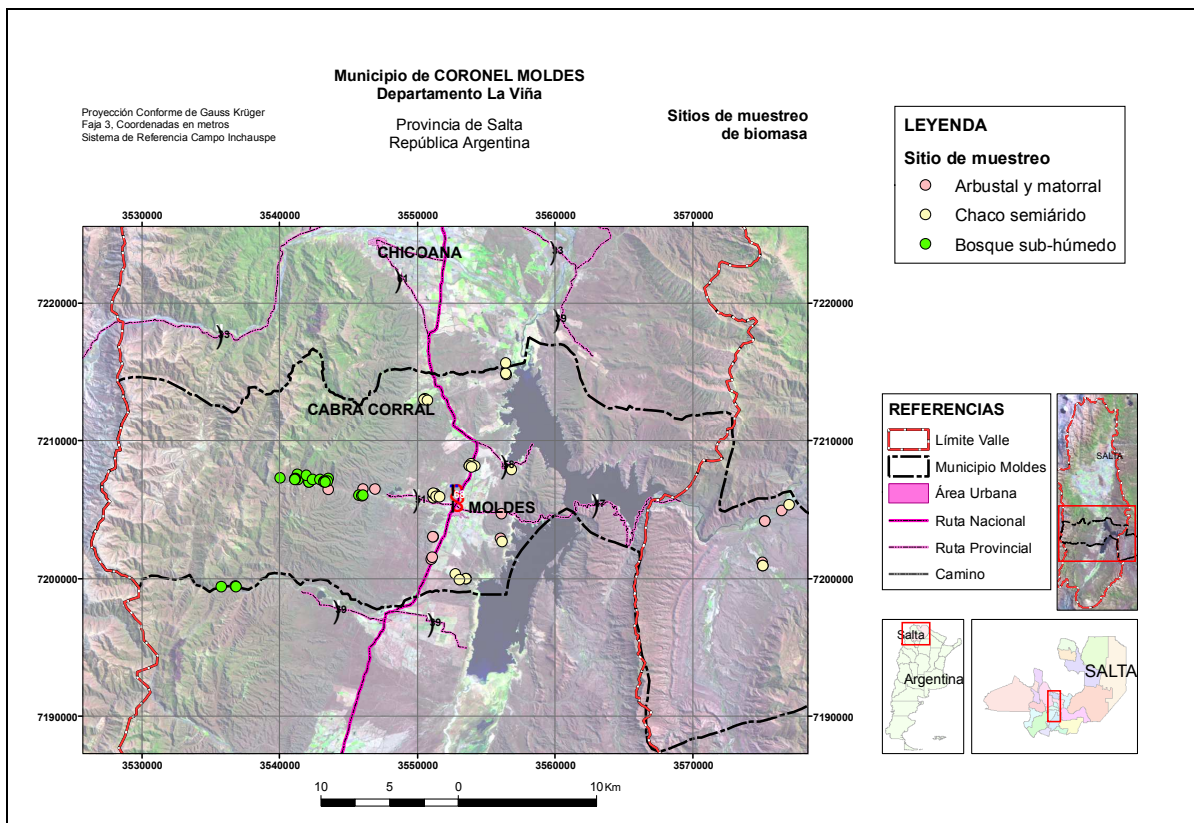


Figura 1. Sitios de muestreo en el municipio de Coronel Moldes.

2.2.3. Análisis del potencial de mitigación de GEI de los bosques

Se realizaron dos tipos de estimaciones: i) Capacidad total de secuestro de carbono de los bosques (en la superficie en la que se hallaban representados a nivel de municipio) y ii) Potencial sustitución de combustibles fósiles por empleo de oferta anual de biomasa leñosa, en términos de emisiones evitadas a la atmósfera y de combustibles fósiles no utilizados (en volumen).

Los beneficios finales en términos de mitigación, dependerán de qué tipo de combustible fósil sea reemplazado en cada caso (Kirschbaum, 2003). Así, por tanto, considerando los principales combustibles fósiles que se utilizan en el municipio (diesel, gas natural, kerosene, gasolina) se utilizaron los datos de la Tabla 1 (Barros et al., 1999):

Combustible	Factor de emisión de C(tC/TJ)	Densidad (t/m ³)	PCI (kcal/kg)
Gasoil (Diesel)	20,2	0,845	10.200
Gas natural	15,3	0,75 (kg/m ³)	9.300 (kcal/m ³)
Kerosene	19,5	0,808	10.300
Naftas	18,9	0,735	10.350

Tabla 1. Factor de emisión, densidad y poder calorífico de algunos combustibles fósiles más empleados en la zona. Donde: PCI, poder calorífico inferior. En este caso no se aclara contenido de humedad en la referencia.

A partir de estos datos, y teniendo en cuenta la oferta anual de leña estimada para cada uno de los ecosistemas naturales (y la formación de Acacias), se realizó un análisis de sensibilidad, observando la potencial sustitución de combustibles fósiles que podría lograrse, empleando la oferta total, y discriminada por ambiente. Mediante gráficos se muestra la sustitución total de cada combustible, si toda la oferta leñosa fuera empleada sólo para la sustitución de ese combustible en particular. Se observó de esta manera, la potencial cobertura y ahorro de emisiones que la oferta de leña permitiría lograr.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Estado actual de los ecosistemas

Los registros personales como así aquellos mencionados en la literatura, revelan que los tres ambientes estudiados se encuentran en diferentes niveles de degradación, y no existen sitios protegidos a nivel municipal ni departamental. La ganadería extensiva, recolección de leña y madera y el turismo son los principales factores de impacto y degradación en la zona (Cutuk y Piacentini, 2004). Los signos de intervención humana y/o animal relevados por parcela, se muestran en la Figura 2. En el ambiente de Yungas, en el 77% de las parcelas se observaron alguno de los signos de presencia humana y/o animal considerados. La extracción de madera fue la categoría más frecuente de registro (se observó en el 26% de las parcelas) (Figura 3a), seguida por “ramoneo y pisoteo del ganado” (en el 17% de las parcelas) y las demás categorías se registraron en menos del 13% de las parcelas.

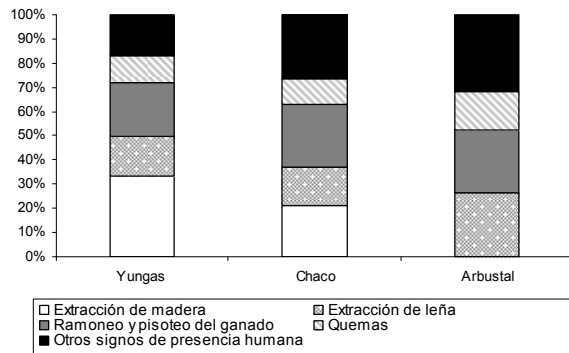


Figura 2. Signos de intervención antrópica (y animal) en los ecosistemas estudiados.

En el ambiente de Chaco, el 73% de las parcelas estudiadas registra alguno de los signos observados. En el 20% de las parcelas realizadas se detectó “ramoneo y pisoteo de ganado” y “otros signos de presencia humana”; en un 15% de las parcelas se registró “extracción de madera”; en un 11% “extracción de leña”, y por último, en casi un 8% de las parcelas, se observaron rastros de “quemadas”.

El ambiente de arbustal muestra en casi la totalidad de sus parcelas (20 en total) uno o varios de los signos relevados. Considerando el número de parcelas afectadas por cada una de las categorías se tiene: en el 30% de las parcelas se registran “otros signos de presencia humana”; en un 25% de las parcelas se registran “extracción de leña” y “ramoneo y pisoteo del ganado”; y en un 15% de las parcelas se observan “signos de quema”. En este sitio no se observó aprovechamiento maderero, quizás por la configuración de sus escasos ejemplares arbóreos, de poco diámetro y alturas, y de porte defectuoso en la mayor parte de los casos. Una característica común en amplias zonas, fue la existencia de suelo desnudo (Figura 3c).

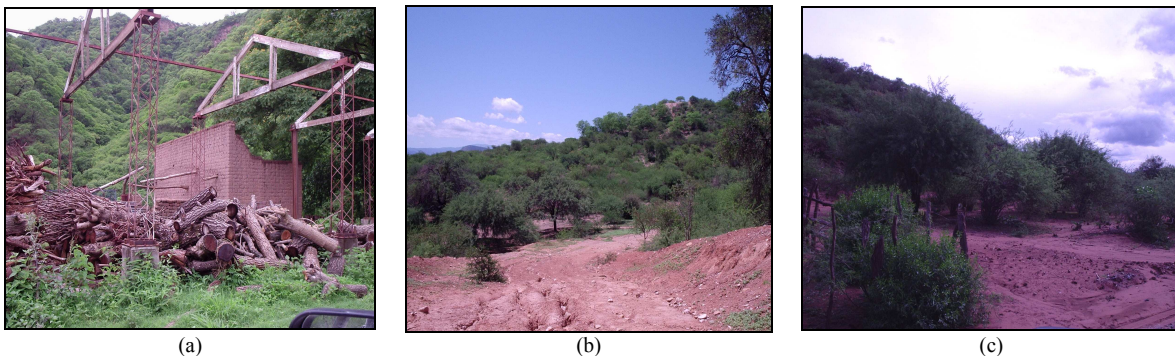


Figura 3. Explotación forestal en las Yungas (a), erosión en cárcavas y suelo desnudo en Chaco serrano (b) y suelo desnudo en el ambiente de arbustales (c). Municipio de Coronel Moldes.

3.2. Oferta de biomasa y bioenergía

La biomasa total (en peso seco) por unidad de superficie (considerando la sumatoria de los siete reservorios estudiados) es de 324 t/ha para Yungas, 184 t/ha para Chaco y de 96 t/ha para arbustales (la distribución de los aportes de cada reservorio puede consultarse en Manrique et al., 2011).

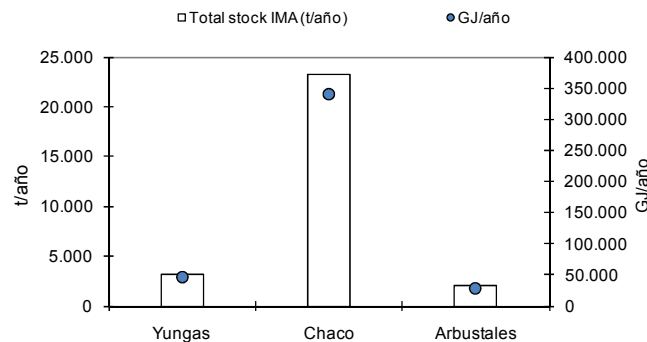


Figura 4. Potencial biomasa y bioenergía aprovechable desde los tres ecosistemas estudiados en el Municipio.

Esto implica un total de 842.400 t/ha, 7.360.000 t/ha y 662.400 t/ha, respectivamente, para los ambientes mencionados. La biomasa anual (o crecimiento) disponible desde los tres ambientes es de 28.400 t/año para el municipio. Esto implica una oferta bioenergética anual de más de 416.000 GJ/año (ver Manrique et al., 2012). En el análisis particular de las especies del ambiente de arbustal, las cuatro especies seleccionadas implican una oferta de biomasa y bioenergía del 78% y 74% del total

de este ambiente, respectivamente. El potencial energético anual, así como el material leñoso disponible, de cada uno de los ambientes se observa en la Figura 4. La cantidad de leña anual provendría en un 11% del ambiente de Yungas, 82% desde Chaco y el resto desde arbustales (7%).

3.3. Emisiones evitadas por secuestro de carbono desde bosques nativos

Partiendo del secuestro de carbono por ha que realiza cada ambiente, puede calcularse el secuestro total de C (y CO₂) realizado por estos ambientes en la superficie en la que se encuentran representados en el municipio (Tabla 2).

Variable	Unidad	Yungas	Chaco	Arbustales
Secuestro de C por ha	tC/ha	162	92	48
Superficie total	ha	2.600	40.000	6.900
Carbono en la superficie total	t	421.200	3.680.000	331.200
CO ₂ secuestrado	t	1.544.540	13.494.560	1.214.510

Tabla 2. Estimaciones de stock total de carbono en los tres ecosistemas del Municipio (Manrique et al., 2011).

A nivel de municipio, los tres ecosistemas estudiados mantienen secuestradas más de 16 millones de toneladas de CO₂ en una superficie algo menor a 50.000 ha, siendo el Chaco el que, por su mayor superficie y configuración de vegetación, realiza el mayor aporte en este sentido (el 83% del total), seguido del ambiente de Yungas (con 9,5%) y por último los arbustales.

Si se asume que el promedio de los ciudadanos argentinos tiene una huella de carbono de 5,71 tCO_{2ecq}/año (SAyDS, 2008), esto significa que la población del municipio emite al año cerca de 24.000 tCO₂ al ambiente. Por tanto, el CO₂ capturado por la vegetación del sitio durante un largo periodo de tiempo, podría “cubrir” o compensar las emisiones de CO₂ de los habitantes del municipio 678 veces, o lo que es lo mismo, durante 678 años. Si esos años ya fueron cubiertos o no, será un aspecto que deberá ser profundizado. Lo que sí puede estimarse, es que, mientras mayor sea el nivel de degradación de los bosques de la zona –o aún peor, su disminución en superficie-, y mayor sea el crecimiento de la población, esos años “de gracia” seguramente se verán velozmente reducidos.

3.4. Sustitución de combustibles fósiles por empleo de biomasa natural de bosques nativos

Emplear la oferta de biomasa anual del Municipio (biomasa leñosa de Yungas, Chaco, arbustales y Acacias) para sustitución de combustibles fósiles, permitiría evitar entre 6.000 a 9.000 tC/año aproximadamente.

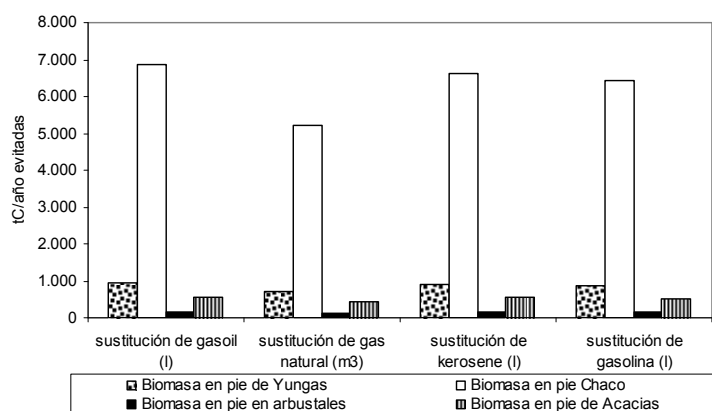


Figura 5. Toneladas de C evitadas a la atmósfera al sustituir un tipo de combustible fósil en cada caso.

En particular, el empleo de la oferta anual de biomasa desde el ambiente de Chaco, podría evitar desde 5.200 a 6.800 tC/año, en función del tipo de combustible fósil sustituido. El empleo de la oferta anual del ambiente de Yungas, evitaría la emisión de 700 tC/año a cerca de 950 tC/año. El empleo de Acacias, evitaría desde 400 a 560 tC/año, y, por último, la utilización de la oferta anual de leña desde el ambiente de arbustales evitaría la emisión de entre 100 y 150 tC/año, según el combustible fósil considerado. Las emisiones evitadas totales (en términos de C y de CO₂), por empleo conjunto de la oferta leñosa de las cuatro formaciones naturales estudiadas, se muestra en la Figura 6.

Como puede notarse, la sustitución de diesel, cuya quema genera mayor cantidad de emisiones de carbono (tC) por TJ utilizado, produciría los mayores beneficios (31.285 tCO₂/año evitadas). En segundo lugar, el empleo de toda la oferta leñosa para sustitución de kerosene, implicaría alrededor de 30.200 tCO₂/año, evitadas de ser emitidas a la atmósfera. Idénticos beneficios implicaría la sustitución de gasolina (naftas), mientras que la sustitución de gas natural implicaría los menores beneficios en términos de emisiones de carbono evitadas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que durante los procesos de producción, distribución y uso del gas, se generan fugas de CH₄, que es otro GEI (25 veces superior al CO₂).

Debe mencionarse que los valores anteriores permiten una aproximación teórica pero lógicamente, deberán ser ajustados en función de las posibilidades tecnológicas de sustituir combustibles líquidos de origen fósil por biomasa. Algunos de las posibilidades de empleo de biomasa incluyen procesos de combustión, pirolisis, gasificación y aún otros más complejos

como la producción de bioetanol desde residuos leñosos. Cada una de las posibles vías de transformación demandarán estudios de ciclo de vida, evaluando los balances netos energéticos.

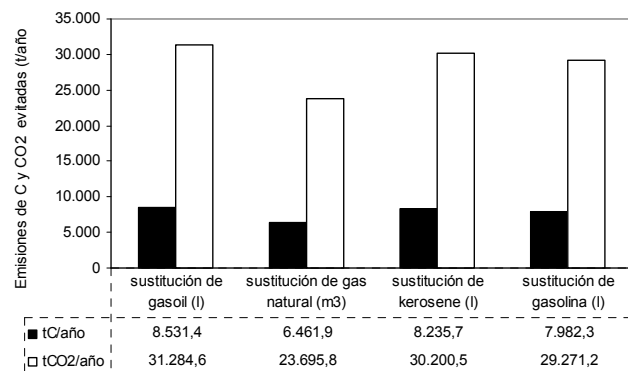


Figura 6. Emisiones de C y CO₂ evitadas por empleo de la oferta total de leña anual desde los tres ambientes naturales (incluyendo la oferta desde Acacias). Las estimaciones muestran el potencial para sustituir un sólo tipo de combustible fósil por vez.

3.5. Total de emisiones evitadas por empleo de bioenergía y mantenimiento de reservorios de carbono

El secuestro de C realizado por parte de los ecosistemas nativos, mantiene retenidas emisiones que de otra manera, o frente al avance de la deforestación o degradación, se liberarían a la atmósfera. El carbono retenido, que se conserva año a año fijado en los bosques (a menos que exista algún disturbio natural o antrópico) debería sumar a la cuenta anual de emisiones evitadas. En un análisis de la importancia absoluta y relativa, de estos bosques como reservorios, por un lado, y de su oferta de bioenergía en su crecimiento anual leñoso –con el cual se sustituiría el empleo de algún combustible fósil, que en este caso se considera el gas natural- se tiene el panorama que se muestra en la Figura 7.

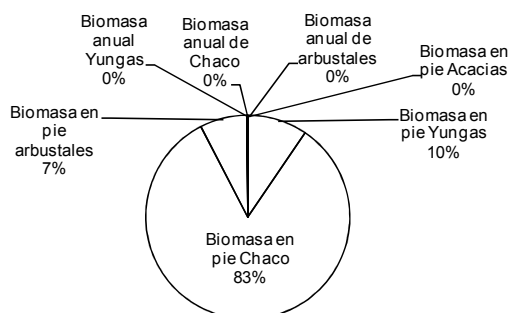


Figura 7. Emisiones evitadas desde el empleo de las fuentes de biomasa natural (crecimiento anual) disponibles en el municipio, y desde el secuestro y fijación realizada por los tres principales ecosistemas naturales (tCO_{2eq}/año)

El 99,8% de las emisiones evitadas a la atmósfera (tCO_{2eq}/año), se deben a la existencia de los reservorios de bosque de Chaco, Yungas y arbustales del municipio, con lo cual, anualmente, la conservación de los mismos, es la principal alternativa de mitigación de GEI. El crecimiento anual de estos reservorios –biomasa leñosa- es el segundo grupo con mayor importancia en la sustitución de combustibles fósiles (biomasa leñosa anual). Los bosques nativos, por tanto, tienen un rol fundamental en la mitigación del cambio climático: en la fijación de carbono y en la provisión anual de combustible renovable. Si bien ambos objetivos parecerían contradictorios: si los bosques son protegidos de cualquier tipo de disturbio y destinados a reservorios de carbono, podrían fijar cada vez más carbono hasta llegar a la madurez o climax, mientras que si son intervenidos para aprovechamiento energético de la oferta anual disponible, el carbono secuestrado en los bosques será poco a poco removido (Kirschbaum, 2003). En esta reflexión lo que falta considerar es que el potencial de fijación de carbono de un bosque es limitado, debido a su saturación y permanencia: cuando los bosques llegan a la madurez, bajo determinadas condiciones climáticas y de suelo, se ha alcanzado el máximo potencial de almacenamiento de carbono (en el supuesto de que no hayan sufrido intervenciones naturales o antrópicas) (Kraxner et al., 2003). Por tanto, si los bosques son manejados adecuadamente, y se incluye el uso de la biomasa para energía, pueden resultar un sumidero permanente de carbón, brindando además beneficios extras de carbono por la sustitución de combustibles fósiles, como así beneficios económicos, sociales y ecológicos (Koopmans, 2005; Foley et al., 2005; Jong et al., 2007). Las estrategias que integren múltiples objetivos son las que se reconocen como con mayores probabilidades de éxito frente a la mitigación del cambio climático (Thornley y Cannell, 2000; Noss, 2001; Blom et al., 2010).

CONCLUSIONES

Los estudios realizados permiten estimar un total de biomasa por unidad de superficie (considerando los siete reservorios estudiados) de 324 t/ha para Yungas, 184 t/ha para Chaco y de 96 t/ha para arbustales. Esto implica un total de cerca de 8.900.000 t de biomasa en una superficie de casi 50.000 ha. Dado que en todos los casos los ambientes se encuentran con

algún nivel de degradación, podría considerarse que la acumulación de biomasa en estos ambientes podría ser aún mayor si se protegieran de cualquier tipo de disturbio.

El análisis de las dos estrategias señaladas: bosques como reservorios de carbono o bosques como fuente de combustible renovable, mostró que: i) la biomasa de los bosques mantiene secuestradas más de 16 millones de toneladas de CO₂, siendo el Chaco el que, por su mayor superficie y configuración de vegetación, realiza el mayor aporte en este sentido (el 83% del total de C secuestrado); ii) la cantidad de leña anual que podría obtenerse sin afectar el capital natural, con un factor de uso del 70% sobre la oferta total, sería de 28.400 t/año, obtenidas en un 11% del ambiente de Yungas, 82% desde Chaco y el resto desde arbustales (7%). Las cuatro especies de Acacias seleccionadas implican una oferta de biomasa y bioenergía del 78% y 74% del total de este último ambiente, respectivamente. Esto indica que no todas las especies de los ambientes estudiados, aportarán de igual manera a la oferta anual de biomasa-bioenergía, por lo cual deberían ser estudiadas particularmente.

El 99,8% de las emisiones evitadas a la atmósfera (tCO_{2eq}/año), se deben a la existencia de los reservorios de carbono de Chaco, Yungas y arbustales del municipio, con lo cual, anualmente, la conservación de los mismos, es la principal alternativa de mitigación de GEI. La provisión de material combustible es por tanto una estrategia secundaria pero complementaria y necesaria: manejados adecuadamente, el aprovechamiento de la oferta anual de los bosques posibilitará mantener el máximo reservorio posible de carbono, a la par que se sustituyen parcialmente las emisiones de GEI desde fuentes de combustibles fósiles, por empleo de bioenergía anual disponible. Lograr una oferta sostenida de material combustible renovable, dependerá de que los planes de manejo de los bosques se encuentren técnicamente fundados en el estudio de especies particulares.

En el contexto ambiental actual, es necesario incorporar en las futuras decisiones de manejo, el potencial que revisten los bosques en la mitigación del cambio climático, mediante estrategias integrales, que permitan, asimismo, la satisfacción de las demandas básicas de la población, sin afectar la capacidad de renovación de los bosques.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONICET por la beca post-doctoral otorgada a la Dra S. Manrique. Al IRNED (Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo) de la Facultad de Ciencias Naturales (UNSa) y especialmente al Lic. Virgilio Núñez por la facilitación de instrumental, apoyo logístico para tareas de terreno y confección de mapas. Se reconoce y agradece los valiosos aportes y comentarios del Dr. Lucas Seghezzeo y el esfuerzo realizado por los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente que participaron de las tareas de campo. Este trabajo se desarrolló asimismo en el marco del proyecto CIUNSa N° 2.134.

REFERENCIAS

- Achard F., Eva H.D., Stibig H.J., Mayaux P., Gallego J., Richards T. y Malingreau J.P. (2002). Determination of deforestation rates of the World's Humid Tropical Forests. *Science*, 297, 999. DOI: 10.1126/science.1070656.
- Adams J.M. y Piovesan G. (2002). Uncertainties in the role of land vegetation in the carbon cycle. *Chemosphere*, 49, 805–819.
- Baral A. y Guha G.S. (2004). Trees for carbon sequestration or fossil fuel substitution: the issue of cost vs carbon benefit. *Biomass and Bioenergy*, 27, 41 – 55.
- Barros, V. et al. (1999). Primera comunicación nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Inventario de GEI sector transporte. Argentina.
- Blom B., Sunderland T., et al. (2010). Getting REDD to work locally: lessons learned from integrated conservation and development projects. *Environmental Science and Policy*, 13 (2), 164–172.
- Bonino E.E. (2006). Changes in Carbon Pools Associated With Land-Use Gradient in the Dry Chaco, Argentina. *Forest Ecology and Management*, 223,183-189.
- BP (Beyond Petroleum). (2008). Statistical Review of World Energy June 2008. www.bp.com/statisticalreview.
- Brown S. (1997). Estimating biomass and biomass change of Tropical Forests. Roma, Italia. 55 P. FAO Montes 134.
- Cabrera A. (1994). Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Editorial Acme S.A.C.I. Tomo II (1). Buenos Aires.
- Cutuk R. y Piacentini F. (2004). Diagnóstico y Plan de Acción del Municipio de Coronel Moldes. Consejo Federal de Inversiones. Salta. 83 p.
- DeFries R.S., et al. (2002). Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99 (22), 14256–14261.
- Dixon R.K., Brown S., Houghton R.A., Solomon A.M., Trexler M.C. y Wisniewski J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263 (14), 185-190.
- Fang S., Xue J. y Tang L. (2007). Biomass production and carbon sequestration potential in Poplar plantations with different management patterns. *Journal of Environmental Management*, 85, 672-679.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2001). Situación de los bosques del mundo. Departamento de Montes de la FAO. Roma, Italia.
- Foley J.A., DeFries R., Asner G.P., et al. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309, 570-574. DOI: 10.1126/science.1111772.
- FUNIF (Fundación para la Integración Federal). (1997). Proyecto: diseño de instrumentos para una política productiva para la provincia de Salta. Salta. Argentina.
- Gasparri N.I., Grau H.R. y Manghi E. (2008). Carbon pools and emissions from deforestation in Extra-Tropical Forests of Northern Argentina Between 1900 and 2005. *Ecosystems*, 11, 1247–1261. DOI: 10.1007/s10021-008-9190-8.

- Hiratsuka M., Toma T., Mindawati N., Heriansyah I. y Morikawa Y. (2005). Biomass of a man-made forest of timber tree species in the humid tropics of West Java, Indonesia. *Forest Resources*, 10, 487–491.
- Hohne N., Wartmann S., Herold A. y Freibauer A. (2007). The rules for land use, land use change and forestry under the Kyoto Protocol - lessons learned for the future climate negotiations. *Environmental science and policy*, 10, 353-369.
- Houghton R.A. (2005). Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance *Global Change Biology*, 11, 945–958, doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.00955.x.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). (2001). <http://www.Indec.Gov.Ar/Webcenso/Index.Asp>.
- IPCC (Intergovernmental Panel Climate Change). (1996). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/5_Waste.pdf>.
- IPCC (Intergovernmental Panel Climate Change). (2001). Climate change: the scientific basis. In: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., et al., editors. Cambridge, United Kingdom. Cambridge University Press.
- Jong B.H., Masera, O., Olguín, M., Martínez, R. (2007). Greenhouse gas mitigation potential of combining forest management and bioenergy substitution: A case study from Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management* 242, 398–411.
- Keith H., Mackey B.G. y Lindenmayer D.B. (2009). Re-evaluation 554 of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (28), 11635–11640.
- 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.
- Koopmans A. (2005). Biomass energy demand and supply for South and South-East Asia—assessing the resource base. *Biomass and Bioenergy* 28, 133–150.
- Kraxner F., Nilsson S. y Obersteiner M. (2003). Negative emissions from bioenergy use, carbon capture and sequestration (BECS). The case of biomass production by sustainable forest management from semi-natural Temperate Forests. *Biomass and Bioenergy*, 24, 285–296.
- Kyrby K.R. y Potvin C. (2007). Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management* 246, 208–221.
- Lufafa A., Diedhiou I., Samba S.A.N., Sene M., Khouma M., Kizito F., Dick R.P., Dossa E. y Noller J.S. (2008). Carbon stocks and patterns in native shrub communities of senegals peanut basin. *Geoderma*, 146, 75-82.
- Manrique S., Franco J., Núñez V. y Seghezzo L. (2009). Índice de Valor Combustible de Arbustales Naturales y su Potencialidad como Cultivos Energéticos. *AVERMA* 13 (6), 47-56. Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique S.M. y Franco J. (2012). Alcances y restricciones de la bioenergía en el municipio de Coronel Moldes (dpto. La Viña, provincia de Salta, Argentina). Presentado para la XXXV Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES) y XXI Reunión de la Sección Argentina de la Asociación Internacional para la Educación en Energía Solar (IASEE). Rosario, Santa Fe. Octubre de 2012.
- Manrique S., Franco J., Núñez V. y Seghezzo L. (2011). Potential of native forests for the mitigation of greenhouse gases in Salta, Argentina. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 2184-2193. ISSN: 0961-9534.
- Masera O.R., Ordóñez M.J. y Dirzo R. (1997). Carbon emissions from Mexican Forests: current situation and long-term scenarios. *Climate Change* 35, 265–295.
- McKeown A. y Gardner G. (2009). *Climate Change Reference Guide*. Worldwatch Institute. 17 p.
- Montenegro C., Bono J., Parmuchi M.G. y Estrada M. (2005). La Deforestación y Degradación de los Bosques Nativos en Argentina. UMSEF, Dirección de Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. *Revista IDIA XXI*.
- Noss R.F. (2001). Beyond Kyoto: forest management in a time of rapid change. *Conservation Biology* 15, 578–590.
- Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., et al. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, use change and Forestry*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Robledo, C. y Blaser, J. (2008). Los temas claves en el tema de Uso de la tierra, Cambio en el Uso de la tierra y Silvicultura (UTC UTS) con énfasis en las perspectivas de los países en desarrollo. *Intercooperación Berna, Suiza*.
- SAyDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación). (2008). Documento de referencia de la huella de carbono. www.ambiente.gov.ar/cambio_climático.
- Segura M. y Kaninnen M. (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.
- Singh P.P. (2008). Exploring biodiversity and climate change benefits of community-based forest management. *Global Environmental Change*, 18, 468–478.
- Stern N. (2007). *Stern Review on the Economics of Climate Change* (pre-publication edition). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA . http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm.
- Thornley J.H.M. y Cannell M.G.R. (2000). Managing Forests For Wood Yield And Carbon Storage: A Theoretical Study. *Tree Physiology*, 20, 477–484.

ABSTRACT

Native forests have a fundamental role in the mitigation of climate change because the deforestation and degradation of biomass means about 20% of total world emissions of greenhouse gases (GHG). The objective of the present work was to analyze the employment alternatives of native forests in the municipality of Coronel Moldes, La Viña, province of Salta, in order to maximize GHG mitigation considering two main strategies: i) the potential as carbon reservoirs and ii) the potential as a source of renewable fuel. While they would appear to be two conflicting strategies, the results show that both can be combined properly making it possible not only to obtain concrete results in the mitigation of greenhouse gases, but also achieve benefits extras in the provision of goods and services generated by forests from their natural ecosystem functions.

Keywords: bioenergy, carbon, climate change, mitigation, native forests.