

CULTIVOS AGRICOLAS Y SU ROL COMO RESERVORIOS DE CARBONO Y FUENTES DE ENERGÍA

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: El objetivo del presente trabajo fue analizar el potencial de la biomasa residual agrícola generada desde las principales producciones del municipio de Coronel Moldes, provincia de Salta (ají, tabaco Criollo y tabaco Virginia) en cuanto a la mitigación de GEI responsables del sobrecalentamiento de la atmósfera. Se consideraron dos estrategias generales de mitigación: i) como reservorio de carbono (C) y ii) como fuente de energía renovable neutra en emisiones de C, que sustituiría parcialmente a los combustibles fósiles empleados. Se evaluó este potencial en relación con otras fuentes de biomasa para las cuales existían estudios previos en la zona. Si bien su aporte como reservorio de C no es permanente, permite dimensionar su contribución en relación a la biomasa natural de la zona. En cuanto fuente de energía, el empleo de esta biomasa posibilitaría evitar cerca de 500 tCO₂/año (emisiones anuales de 90 ciudadanos) con beneficios económicos y ambientales.

Palabras clave: bioenergía, cambio climático, Coronel Moldes, cultivos agrícolas, mitigación de gases efecto invernadero.

INTRODUCCIÓN

En el contexto del cambio climático actual (Stern, 2007) se reconoce que la biomasa, considerada como un conjunto de recursos de naturaleza orgánica pero con diferentes características, podría ser empleada para mitigar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) mediante dos estrategias principales: i) reducción de emisiones por secuestro o fijación de carbono y ii) reducción de emisiones por empleo de una fuente de energía renovable teóricamente neutra en emisiones de carbono (Swezey et al., 1995), en sustitución parcial de los combustibles fósiles tradicionalmente utilizados (petróleo, carbón y gas). Sin embargo, la biomasa puede separarse en dos grandes grupos según el origen de generación, que tendrán mayor impacto de mitigación de GEI en el empleo de una u otra estrategia. Dichos grupos son: i) biomasa natural, que es la biomasa generada espontáneamente en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana, como el crecimiento anual de los bosques nativos que puede ser cosechado en pie o como material caído naturalmente, y ii) biomasa antropogénica, que es la generada como consecuencia de las actividades humanas. En este último grupo se incluye la biomasa residual agrícola, forestal, pecuaria y de industrias derivadas de alguno de los sectores mencionados (también se incluyen aquí a los residuos sólidos urbanos, los líquidos cloacales, los lodos de depuración, entre muchos otros).

La biomasa residual agrícola de la provincia de Salta, que será degradada natural o artificialmente, tendrá mayor importancia en cuanto a su posibilidad de generación de energía renovable, ya que como reservorio de carbono tiene un periodo de permanencia limitado (generalmente los cultivos son de ciclo anual o plurianual, pero su finalidad última es la cosecha de alguna de las fracciones de la planta como producto útil, y su reemplazo por una nueva tanda de cultivo). Así por ejemplo, en el Valle de Lerma, valle fértil en el centro de la provincia de Salta, donde una de las principales actividades que se realizan es el cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum L.*), la biomasa residual generada (tallos de tabaco actualmente sin utilidad) es de casi 17.000 t/año (alrededor de 16.000 t desde tabaco Virginia y más de 600 t desde tabaco criollo, que son las dos variedades más cultivadas). Se ha estimado que, para un lapso de 4 meses en los cuales se generan los residuos, se contaría con un total de 113.000 kg/día, lo que implicaría una generación de energía eléctrica de cerca de 113.000 kWh/día. Para una planta con 12 horas de operación por día, se podría contar con una capacidad instalada de 9,4 MW y una generación de electricidad de 41.172 MWh (Manrique et al., 2009).

Si bien existen algunas estimaciones del potencial de bioenergía de estos recursos para el municipio (Manrique et al., 2008), esta oferta no había sido considerada en cuanto a su rol en la mitigación de GEI en el marco del cambio climático y la posible combinación de estrategias necesarias en función de la naturaleza de la biomasa que se considere. El objetivo del presente trabajo fue analizar el potencial de la biomasa residual agrícola generada desde las tres principales producciones realizadas en el municipio de Coronel Moldes, departamento La Viña, provincia de Salta: ají, tabaco Criollo y tabaco Virginia, en cuanto a la mitigación de GEI. Las estrategias consideradas fueron: i) reducción de emisiones si dicha biomasa fuera empleada como fuente de bioenergía, reemplazando parcialmente el empleo de fuentes fósiles y ii) secuestro de carbono como

¹ Investigadora Post-doctoral del CONICET.

² Investigadora Adjunta del CONICET.

biomasa en pie (en este caso, el análisis incluye el cultivo en pie o biomasa aérea total), en ambos casos a nivel municipal. Asimismo se evaluaron ambas estrategias en relación con otras fuentes de biomasa para las cuales existían estudios previos en la zona.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

La zona de estudio seleccionada, el municipio de Coronel Moldes (departamento La Viña, provincia de Salta), se ubica en el sur del Valle de Lerma, a 60 km aproximadamente de la capital provincial. Dicho municipio tiene una superficie total de 840 km² y una población de 4.194 habitantes en el año 2001 (INDEC, 2001). La altitud media es de 1.150 m.s.n.m. El clima es templado serrano, con una precipitación anual de alrededor de 500 mm anuales, concentrada entre los meses de diciembre y marzo. La temperatura media anual es de 17,9°C. Trabajos previos en la zona han definido una superficie promedio cultivada con tabaco de 610 ha (470 ha de tabaco Criollo y 140 ha de tabaco Virginia) y casi 70 ha de ají (Manrique et al., 2008).

Diseño metodológico

- Recolección de muestras

El muestreo, de tipo aleatorio, se realizó en aproximadamente un 10% de la superficie cultivada, lo que implicó, en el caso del tabaco Criollo, 15 fincas; en el caso de tabaco Virginia, 7 fincas, y en el caso de ají, 5 fincas. Las fincas fueron seleccionadas en base al padrón de productores y superficie cultivada en cada una (obtenido desde la Cooperativa de Tabacaleros de Salta). Dichas fincas fueron identificadas previo a la realización de los viajes a la zona, y en algunos casos, directamente en el municipio, a través de la Delegación de la Cámara de Tabaco en Coronel Moldes. El número de plantas recolectadas en cada finca, para cada uno de los cultivos, fue de 5, 7 y 5 plantas, para tabaco Criollo, Virginia y Ají, respectivamente. Esto implicó una intensidad de muestreo de 0,01% para tabaco Criollo, y 0,02% para tabaco Virginia y ají. La menor intensidad de muestreo del tabaco Criollo se debió a la mayor superficie cubierta, que hubiera requerido relevar el doble de ejemplares de los colectados. Sin embargo, el número de plantas finalmente obtenido a campo, quedó definido por el esfuerzo de colecta de los ejemplares, que implicaban necesariamente un gran volumen de capacidad de transporte, pero también, un gran volumen de capacidad de las estufas para secado, lo cual resultó absolutamente restrictivo, ya que sólo se contó con dos estufas disponibles.

El muestreo consistió en recolectar la planta completa antes de la cosecha, al ras del suelo, en dos situaciones diferentes: i) cuando el cultivo se hallaba en pie cercano a la época de derribe de las plantas (para los tres cultivos); (50 plantas para Criollo, 50 plantas para Virginia y 25 plantas para ají) y ii) luego del derribe de las plantas –pabellones o parvas-, momentos antes de su cosecha (25 plantas de tabaco Criollo y 10 plantas para ají). Una vez cortadas las plantas, se pesaron para obtener su peso fresco total, y el peso fresco de las fracciones producto y residuo. La fracción producto para el caso del tabaco, son sus hojas, que son aprovechadas por completo aunque tienen diferente valor y forma de uso final. El resto de la planta (tallo) es desechado (residuo). En el caso del ají, la fracción de interés (producto) son los frutos de las plantas, y el resto (tallo) es descarte (residuo). Luego del pesado, las muestras fueron embolsadas, etiquetadas y llevadas al laboratorio para ser analizadas.

- Procesamiento de muestras. Determinación de biomasa y carbono

Para estimar la biomasa y bioenergía de los cultivos seleccionados, se utilizaron los datos de humedad y de poder calorífico mencionados para el tabaco Criollo y para el ají en Manrique et al. (2008). Los datos de tabaco Virginia se obtuvieron siguiendo idénticos procedimientos de secado (estufa a 105°C) y de estimación de poder calorífico (bomba calorimétrica Parr 1108) que los mencionados por dichos autores. La fracción de carbono utilizada fue de 0,5. Este valor es el recomendado para realizar estimaciones de contenido de carbono en diferentes escenarios naturales y agrícolas, en el caso de que no haya datos disponibles (IPCC, 1996). Se utilizaron las siguientes densidades de plantación en cada caso (nombrándose como densidad 1, densidad 2 y densidad 3 según su orden de aparición):

- i) tabaco criollo y tabaco Virginia: 16.000, 18.000 y 20.000 individuos por ha
- ii) ají: 20.000, 30.000 y 40.000 individuos por ha

Se utilizaron las ecuaciones descriptas en Manrique et al. (2010) que relacionan el peso fresco de las plantas con su peso seco (biomasa).

- Análisis del potencial de mitigación de GEI de los cultivos agrícolas

Se realizaron dos tipos de estimaciones: i) Capacidad total de secuestro de carbono de los cultivos (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 residual agrícola, en términos de emisiones evitadas a la atmósfera y de combustibles fósiles no utilizados (en volumen).

En el primer caso, se consideró la cantidad de CO₂ que podría ser fijado en la fracción aérea de los tejidos vegetales de los cultivos estudiados, que si bien no se trata de biomasa residual sino de biomasa implantada que tiene como destino su cosecha (como producto útil), se estimó este potencial útil a fines de comparación con otras categorías de biomasa presentes en la zona. En el segundo caso, 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 (gasoil, gas natural, kerosene, gasolina) se utilizaron los datos de la Tabla 1 (Barros et al., 1999). A partir de estos datos, y teniendo en cuenta la oferta anual de biomasa residual estimada para cada uno de los cultivos (desechos de la cosecha), se realizó un análisis de sensibilidad, observando la potencial sustitución de combustibles fósiles que podría lograrse, empleando la oferta total, y discriminada por tipo de residuos. Mediante gráficos se muestra la sustitución total de cada combustible, si toda la oferta agrícola residual fuera empleada sólo para la sustitución de ese combustible en particular. Se observó así la potencial cobertura y ahorro de emisiones que esta biomasa permitiría lograr.

Combustible	Factor de emisión de C(tC/TJ)	Densidad (t/m ³)	PCI (kcal/kg)
Gasoil	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. Para el PCI (poder calorífico inferior), la referencia no aclara el contenido de humedad.

Por último, la potencial mitigación de GEI de los cultivos agrícolas se comparó con el potencial estimado para otros reservorios de biomasa (biomasa natural) que fueran estimados en Manrique y Franco (2011 y 2012).

RESULTADOS Y DISCUSION

Características de los residuos

De manera comparativa se muestran los valores de humedad en base seca y en base húmeda que se obtuvieron para cada uno de los residuos agrícolas estudiados. El contenido de humedad de los tallos de tabaco recién cortados oscila en un 80% de humedad, mientras que el tallo del ají, contiene un 70% de humedad. Estos elementos secos al aire, tienen un contenido de humedad de entre 25-30%.

Humedad	Tabaco Criollo		Tabaco Virginia		Ají	
	Tallo	Hojas	Tallo	Hojas	Tallo-hojas	Frutos
Plantas frescas en pie						
W _{b.h.} (%)	83	85	77	81	70	50
W _{b.s.a.} (%)	378	530	327	490	249	87
Plantas secas en campo						
W _{b.h.} (%)	32	25	-	-	26	28
W _{b.s.a.} (%)	60	30	-	-	57	51

Tabla 2. Humedad en base húmeda y en base seca determinada para los residuos estudiados (adaptado de Manrique et al., 2008 para datos de tabaco Criollo y ají). Donde: W=humedad; W_{bh}= humedad en base húmeda; W^{*}=humedad en base seca; W_{bsa}=humedad en base seca al aire.

El contenido de humedad influye en tres aspectos fundamentales: a) la densidad aparente -peso del material- por unidad de volumen), b) el empleo de ciertos equipos, c) el poder calorífico del material (Thipse et al., 2002; Demirbas, 2007 a y b). La biomasa con un porcentaje de humedad pesa más que esa misma biomasa tras un secado. A mayor humedad, mayor cantidad de agua transportada, lo que significa mayores costos de transporte ya que la fracción útil es la materia seca Martín y Núñez, 2006). Por último, cuanto mayor es la humedad menor es el poder calorífico.

Materiales	PCS b.s. (kcal/kg)		PCI b.s. (kcal/kg)	
	X	D.S	X	D.S.
Tabaco Criollo (tallo)	4.012,68	± 59,01	3.746,32	± 42,65
Tabaco Virginia (tallo)	4.151,42	± 40,93	3.823,28	± 44,45
Ají (tallo)	3.921,55	± 63,64	3.664,86	± 63,37

Tabla 3. Poder calorífico de tabaco Criollo, Virginia y Ají, donde X: media y D.S: desvío estándar (adaptado de Manrique et al., 2008 para datos de tabaco Criollo y ají). Donde: PCS_{bs}= poder calorífico superior en base seca; PCI_{bs}= poder calorífico inferior en base seca.

El motivo de esta influencia es doble: cuanto más humedad tiene la biomasa menos materia seca hay por unidad de masa y menor es el calor suministrado; además, mayor es la cantidad de agua que hay que evaporar y como esta evaporación consume calor, el calor utilizable es menor. Muchos investigadores han establecido los efectos negativos del contenido de humedad de materiales lignocelulósicos sobre su poder calorífico (Junge, 1980; Senelwa y Sims, 1999; Katagi y Konwer, 2001).

El poder calorífico y la densidad aparente determinan la densidad energética –esto es, la potencial energía disponible por unidad de volumen de biomasa-. En general, la densidad energética es aproximadamente 1/10 de la densidad de combustibles fósiles tales como petróleo o carbón de alta calidad (Quaak et al., 1999). En la Tabla 3 se muestra el PCS e PCI en base seca, y en la Figura 1, se presenta un gráfico que permite estimar el factor corrector del PC por humedad del residuo.

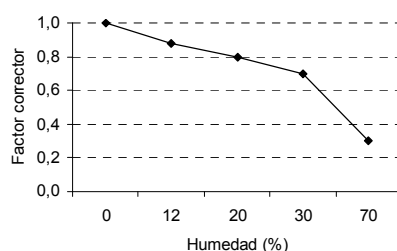


Figura 1. Factor corrector del PCS b.s. en función de la humedad del recurso.

Oferta de biomasa y bioenergía

El valor promedio de peso húmedo por planta de tabaco Criollo es de 2.600 g, el del tabaco Virginia es de 3.600 g por planta, y el del ají es de 345 gramos por planta. Tomando estos valores, considerando una densidad de plantación intermedia y los análisis anteriores, la biomasa (t peso seco por ha) para el municipio oscila en 7,3 t/ha de biomasa de tabaco Criollo (fracción aérea); 10,2 t/ha de biomasa aérea de tabaco Virginia y de 1,1 t/ha de biomasa aérea de ají. En total, existen en el municipio 3.430 t de biomasa aérea de tabaco Criollo, 1.400 t de biomasa de tabaco Virginia y 80 t de biomasa de ají, lo que suma casi 5.000 t de biomasa aérea entre los tres cultivos (sin discriminar fracción útil y fracción residuos).

Por otra parte, sólo considerando la oferta anual de biomasa residual agrícola o residuos de los cultivos (en peso seco) desde las tres producciones estudiadas, se tiene aproximadamente 643 t/año en el municipio, lo que equivale a 7.000 GJ/año. El aporte de cada uno de los cultivos a esta oferta de biomasa residual (y potencial bioenergía) se muestra en la Figura 2. Lógicamente, en función de la eficiencia de conversión energética de la tecnología empleada, el potencial real será menor.

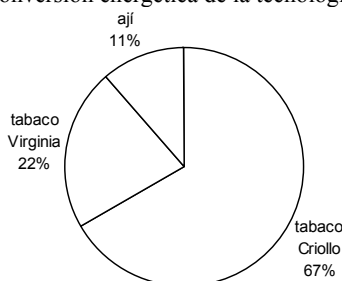


Figura 2. Aporte relativo de los tres tipos de residuos estudiados a la biomasa agrícola anual (en t/año) del municipio.

Los residuos de tabaco Criollo representan el 67% de la oferta de biomasa residual del municipio considerando los cultivos agrícolas estudiados, seguidos por los residuos de tabaco Virginia (22%) y con el menor aporte, los residuos de ají.

Emisiones evitadas por secuestro de carbono desde los cultivos

Partiendo del secuestro de carbono por unidad de superficie (ha) que realiza cada cultivo en su fracción aérea (para una densidad intermedia de plantación), puede calcularse el secuestro total de C (y CO₂) realizado por estos cultivos en la superficie en la que se encuentran representados en el municipio para las otras dos densidades consideradas (Tabla 4). En términos de C secuestrado, existen 2.500 tC en la fracción aérea de los cultivos que aún no han sido cosechados, o casi 9.000 tCO₂ fijadas (para una densidad media de plantación).

Materiales	Secuestro de carbono según densidad de plantación (tC/ha)		
	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 3
Tabaco Criollo	3,24	3,65	4,05
Tabaco Virginia	4,54	5,1	5,68
ají	0,41	0,55	0,72

Tabla 4. Secuestro de carbono por hectárea (tC/ha) para las tres densidades de plantación consideradas.

Considerando que el promedio de los ciudadanos argentinos tiene una huella de carbono de 5,71 tCO_{2eq}/año (SAyDS, 2008) esto significa que la población del municipio emite al año cerca de 23.948 tCO₂ al ambiente. Por tanto, el CO₂ capturado por la fracción aérea de los cultivos considerados –en la superficie en la que se encuentran cultivados-, y que por el momento no se ha emitido a la atmósfera, es equivalente a las emisiones anuales de CO₂ de 1.600 habitantes del municipio, lo cual equivale a aproximadamente un 38% del total de habitantes.

Sustitución de combustibles fósiles por empleo de biomasa residual de cultivos agrícolas

Para el municipio, las emisiones evitadas (de carbono) desde cada tipo de combustible es como se observa en la Figura 3. En el caso del empleo de los residuos de ají, se evitarían emitir desde 12 tC/año (sustituyendo al gas natural) a 16 tC/año (reemplazando al kerosene). Existe la opción de que estos residuos se empleen en opciones combinadas, sustituyendo parcialmente un combustible y parcialmente otro. En el caso de los residuos de tabaco Virginia, su empleo podría evitar desde 23 a 31 tC/año, sustituyendo uno u otro de los fósiles evaluados. En el caso de los residuos de tabaco Criollo, se podrían evitar desde 71 a 94 tC/año, en función del combustible fósil sustituido.

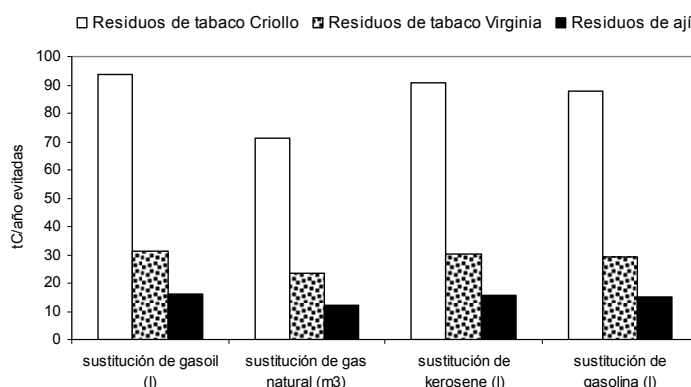


Figura 3. Toneladas de C evitadas a la atmósfera por sustitución de fósiles. Las cuatro situaciones son opciones excluyentes.

Las emisiones evitadas totales (en términos de carbono y de CO₂), por empleo conjunto de la oferta de biomasa residual agrícola de los tres cultivos estudiados, se muestra en la Figura 4.

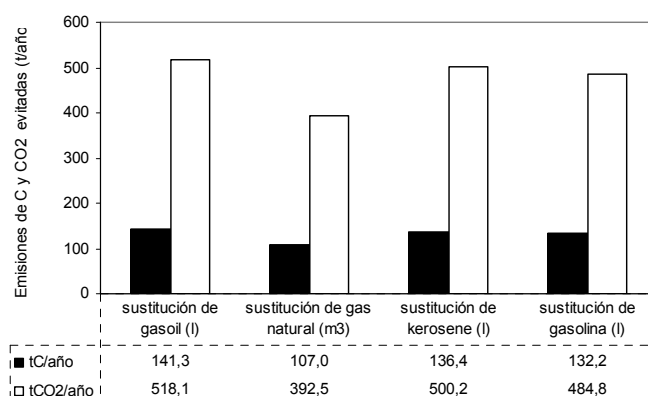


Figura 4. Emisiones de C y CO₂ evitadas por empleo de la oferta anual total de biomasa residual agrícola desde los recursos estudiados. Se muestra el potencial para sustituir un sólo tipo de combustible fósil por vez.

La sustitución de gasoil, con el mayor factor de emisión de carbono, (tC/TJ) evitaría la emisión de 518 tCO₂/año; la sustitución de kerosene alrededor de 500 tCO₂/año, mientras que la sustitución de gas natural implicaría los menores beneficios en términos de emisiones de carbono evitadas (392 tCO₂/año).

Considerando una huella de carbono promedio de un ciudadano argentino, el CO₂ evitado a la atmósfera es equivalente a las emisiones anuales de CO₂ de 90 de los habitantes del municipio (si se evita la quema de gasoil) a 68 de los habitantes del mismo, lo cual equivale a aproximadamente entre un 1,6 y un 2% del total de habitantes.

Vista comparativa de secuestro de carbono de los cultivos estudiados y otras fuentes de biomasa

Se ha mencionado que el principal aporte de los sistemas agrícolas pasará por cuánto material residual quede disponible luego de la cosecha y de qué características, que permita generar energía en forma renovable. Esta energía, obtenida desde fuentes no fósiles, implicará una cantidad determinada de emisiones que no serán liberadas a la atmósfera, por no utilizar el combustible fósil que tradicionalmente se hubiera utilizado. Igualmente los principales cultivos del municipio fueron estudiados en cuanto su capacidad de secuestro de carbono, a fin de observar esta capacidad en forma comparativa con la de los sistemas naturales estudiados: Chaco, Yungas y Arbustales (Manrique y Franco, 2012). En una rápida revisión puede observarse que la capacidad de captura de C de los sistemas agrícolas (en su fracción aérea) es muy limitada con respecto a los ecosistemas naturales de la zona, para los cuales sólo se muestra el secuestro de C realizado en la sección BAL (biomasa aérea leñosa) a fin de que resulten equiparables.

En el caso de Yungas, el carbono fijado en la fracción aérea significa un 47,9% del total de C fijado en el ecosistema; en el caso de Chaco implica un 32,8% del total de C, mientras que en el caso del arbustal, sólo se grafica el 19% del secuestro total de C de este ambiente (ver Manrique et al., 2011). Aún así, los números sobrepasan grandemente los mayores aportes conseguidos por parte de los cultivos agrícolas. El máximo secuestro de C (ambiente de Yungas), supera 215 veces, el menor secuestro de C de todas las categorías consideradas (ají 1, es decir con la menor densidad de plantación). La menor diferencia entre los sistemas agrícolas y los naturales, se presenta entre el cultivo de tabaco Virginia a mayor densidad de plantación (TV3), y el ambiente de arbustal, con una diferencia de 1,6 veces a favor del arbustal. El secuestro de carbono del ambiente de Chaco y de arbustales, significa un 39% y un 11% del valor del ambiente de Yungas, respectivamente. Si bien ya hay una importante distancia entre estos ecosistemas naturales, más notoria es la diferencia cuando el máximo valor encontrado se

analiza en relación a los sistemas agrícolas: el secuestro de C por ha de estos últimos varía desde 7% a 0,5% del valor de las Yungas.

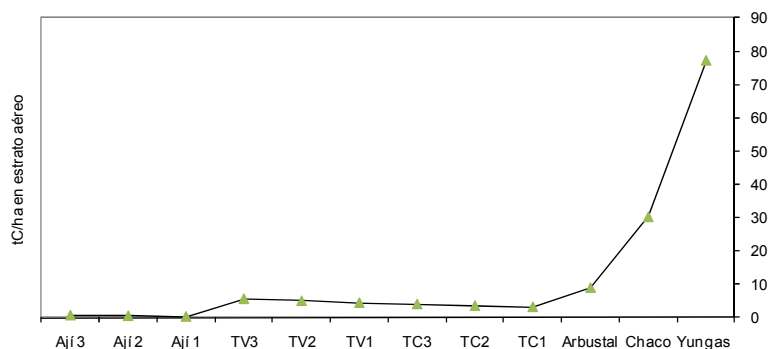


Figura 5. Secuestro de carbono (tC/ha) en el estrato aéreo de los ecosistemas naturales y agrícolas estudiados. Los números 1, 2 y 3 señalan las tres densidades de plantación que fueran trabajadas. TC: tabaco criollo. TV: tabaco Virginia.

Por lo menos la mitad de la cantidad de C secuestrado o su equivalente en tCO_2 (sobre un total de cerca de 9.000 tCO_2), es liberada anualmente a la atmósfera, en cada ciclo de producción (el resto es aprovechado, ya que es utilizado como producto útil, aunque finalmente será quemado al ser consumido como cigarrillos). Ya sea con fines energéticos o agrícolas, en función de las prácticas de manejo, la escala, los insumos, la tecnología, etc., el balance de C total puede llegar a ser cero, si el C liberado por el cultivo se compensa íntegramente con el C secuestrado en el próximo ciclo de producción. En este caso, se asume que el CO_2 secuestrado en la fracción aérea de los cultivos (9.000 tCO_2), deberá sumarse a las emisiones anuales de los habitantes por su huella de carbono (23.948 tCO_2), ya que los sectores incluidos en dicha huella (sector transporte, con 50,69; alimentos, con 28,41%; energía con 20,52% y sector residuos con 0,38%; SAYDS, 2008), no abarcan el consumo de cigarrillos.

Vista comparativa de emisiones evitadas por empleo de bioenergía desde los cultivos estudiados y desde otras fuentes de biomasa

En un cuadro resumen y comparativo pueden observarse las emisiones evitadas (en $tCO_{2eq}/año$) que podría lograr el empleo de cada recurso estudiado (Figura 6), por sustituir combustibles fósiles. Las emisiones evitadas se estiman para la oferta anual de biomasa disponible a nivel de municipio, y tomando, a fines comparativos, la potencial sustitución de gas natural por categoría.

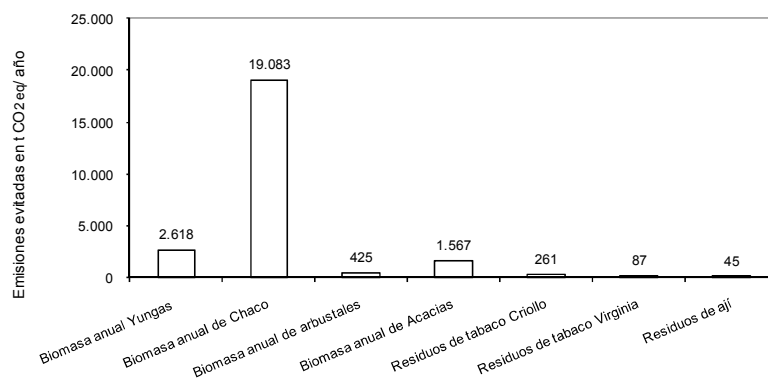


Figura 6. Emisiones anuales evitadas ($tCO_2/año$) por el empleo de las fuentes de biomasa disponibles en el municipio, como bioenergía en reemplazo de gas natural.

La sustitución de fósiles posible de lograrse en el empleo de biomasa leñosa (crecimiento anual desde los ecosistemas boscosos naturales), supera ampliamente las emisiones que se evitarían en el empleo de otros recursos de biomasa (como los cultivos agrícolas) por lo que se puede tener una vista del potencial relativo de uno y otro. Sin embargo, ya se ha señalado la alta demanda de leña como combustible (Manrique y Franco, 2012), sin sustitución de ninguna fuente fósil. En este caso, el recurso sólo podrá considerarse como renovable, cuando se implementen planes de manejo de los bosques, que permitan su renovación, y reviertan el avance de la degradación detectada. Caso contrario, el empleo de la biomasa no resulta una fuente de energía neutra en emisiones de carbono, por lo que, en las condiciones de uso actual del recurso, deberán considerarse estas emisiones y su impacto en la atmósfera.

Si todos los recursos de biomasa estudiados fueran utilizados de manera simultánea en el municipio como bioenergía (incluida la oferta desde biomasa natural leñosa manejada) para el reemplazo de una fracción del gas natural utilizado por sus

habitantes, se estarían evitando cerca de 24.100 tCO_{2eq}/año. En términos de huella de carbono, se estarían mitigando las emisiones anuales de GEI de casi 4.200 habitantes argentinos, que representan el 100% de la población considerada en el municipio. Esto es más representativo si se considera que la huella de carbono del sector alto del municipio (y aún incluso la del sector bajo), seguramente es menor que la estimada para el resto del país (5,71 tCO₂/año), ya que sus consumos energéticos y de transporte (por ejemplo) son mucho menores.

Por otra parte, 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 este análisis, la importancia absoluta y relativa, puede apreciarse en la siguiente Figura 7. 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 (estrategia de secuestro de carbono). Sin embargo, el tener en cuenta los aportes de cada reservorio (tanto secuestro de carbono como sustitución de fósiles), hace una suma muy interesante para el municipio en cuanto a emisiones evitadas se refiere. Ambas estrategias resultan complementarias y deberían ser incorporadas en el diseño de políticas locales de manejo de los recursos y el ordenamiento del territorio.

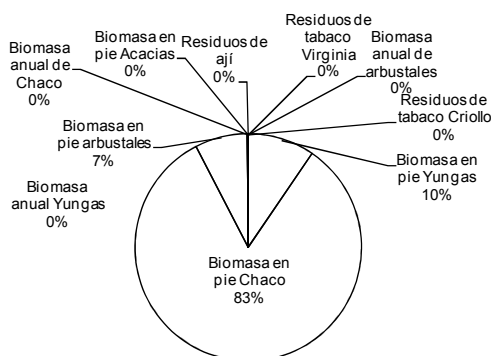


Figura 1. Emisiones evitadas desde el empleo de las fuentes de biomasa disponibles en el municipio, y desde el secuestro y fijación realizada por los tres principales ecosistemas naturales (tCO_{2eq}).

CONCLUSIONES

Se ha considerado que la oferta anual de biomasa residual agrícola generada en el municipio de Coronel Moldes (principalmente desde los cultivos de tabaco Criollo, tabaco Virginia y ají) podría ser empleada mediante alguna de las dos grandes estrategias reconocidas mundialmente para el manejo de la biomasa (utilización como energía renovable en reemplazo de combustibles fósiles o secuestro de carbono), para la mitigación de emisiones de GEI, responsables del sobrecalentamiento global. Si se asume que el promedio de los ciudadanos argentinos tiene una huella de carbono de 5,71 tCO_{2eq}/año (SAyDS, 2008) esto significa que la población del municipio emite al año cerca de 24.00 tCO₂ al ambiente.

En el análisis de la primera estrategia: utilización de los residuos como fuente de energía renovable (fracción de desechos de los cultivos), se puede observar que el empleo de estos residuos como bioenergía posibilitaría evitar la emisión de aproximadamente 500 tCO₂/año (según el combustible fósil sustituido), lo que es equivalente a las emisiones anuales de 90 de los habitantes del municipio.

En el análisis de la segunda estrategia, esto es, fijación de carbono en los tejidos vegetales de la fracción aérea de los cultivos (fracción útil de los cultivos), se parte del reconocimiento de que esta fijación es transitoria, ya que el destino final de los cultivos es su cosecha. Sin embargo, el cálculo del carbono secuestrado indica que existen anualmente (previo a la cosecha) un total de 9.000 tCO₂ fijadas (para una densidad media de plantación), que posteriormente serán liberadas a la atmósfera. Este secuestro es equivalente a las emisiones anuales de CO₂ de 1.600 habitantes del municipio, lo cual equivale a aproximadamente un 38% del total de habitantes.

En una vista comparativa del potencial de ambas estrategias con respecto a otros recursos de biomasa existentes en la zona, y que han sido previamente estudiados (biomasa natural de los tres principales ecosistemas naturales: Yungas, Chaco y arbustales), se puede tener una idea relativa de la contribución de cada recurso de biomasa y sus potencialidades y limitaciones en el empleo de una u otra estrategia.

En el contexto ambiental actual, es necesario incorporar en las futuras decisiones de manejo, el potencial que reviste la biomasa en sus diferentes fuentes y aspectos 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 recursos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONICET por la beca post-doctoral otorgada a la Dra 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

- 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.
- Demirbas A. (2007b). Combustion systems for biomass fuels. *Energy Sources Part A*, 29, 303–12.
- Demirbas A. (2007a). Modernization of biomass energy conversion facilities. *Energy Sources Part B*, 2, 227–235.
- 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>.
- Junge D.C. (1980). The combustion characteristics of wood and bark residue fuels. *Energy Technology* 7, 1331–1339.
- Kataki R. y Konwer D. (2001). Fuelwood characteristics of some indigenous woody species of north-east India. *Biomass and Bioenergy* 20,17–23.
- 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.
- Manrique S., Franco J., Núñez V. y Seghezzeo L. (2008). Potencial Energético de Biomasa Residual de Tabaco y Ají en el Municipio de Coronel Moldes (Salta – Argentina). *AVERMA* 12 (6), 87- 94. Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique S., Franco J., Núñez V. y Seghezzeo L. (2009). Alternativa bioenergética en el Valle de Lerma, Salta (Argentina). Trabajo presentado oralmente en el 1° Congreso Internacional de Ambiente y Energías Renovables, con publicación de trabajo completo en CD- libro. Universidad Nacional de Villa María, Córdoba. 11-13 Noviembre de 2009.
- Manrique S., Franco J., Núñez V. y Seghezzeo 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.
- Manrique S.M. y Franco J. (2012). Bosques nativos: Bioenergía o Secuestro de carbono?. 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 Seghezzeo L. (2010). Secuestro de carbono en sistemas agrícolas del Valle de Lerma. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente AVERMA* 14 (6): 55-62. Argentina. ISSN 0329-5184.
- Manrique S.M. y Franco A.J. (2011). The biomass and its role in the climate change. In: *Carbon Sequestration: Technology, Measurement Techniques and Environmental Effects*. Editors: Brooke J. Ryan and Darnall E. Anderson. Nova Science Publishers, Inc. Hauppauge, NY. Chapter ID 2016. ISBN: 978-1-60876-269-.
- Manrique, S.M. y Franco, J. (2012). Bosques nativos: ¿bioenergía o secuestro de carbono?. 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. 23 al 27 de octubre de 2012.
- Martín F.M. y Núñez M.A. (2006). Biomasa forestal: fuente energética. www.energuia.com.
- Quaak P., Knoef H. y Stassen H. (1999). Energy from biomass: a review of combustion and gasification technologies. *World Bank technical paper*; 422. Energy series.
- SAyDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación). (2008). Documento de referencia de la huella de carbono. www.ambiente.gov.ar/cambio_climatico.
- Senelwa K. y Sims R.E.H. (1999). Fuel characteristics of short rotation forest biomass. *Biomass and Bioenergy* 17,127–140.
- 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.
- Swezey B.G., Porter K.L. y Feher J.S. (1995). The Potential Impact Of Externalities Considerations On The Market For Biomass Power Technologies. *Biomass and Bioenergy* 8 (4), 207-220.
- Thipse S.S., Sheng C., Booty M.R., Magee R.S. y Bozzelli J.W. (2002). Chemical makeup and physical characterization of a synthetic fuel and methods of heat content evaluation for studies on MSW incineration. *Fuel* 81, 211-217.

ABSTRACT

The aim of the present work was to analyze the potential of agricultural residual biomass generated from the main productions of the municipality of Coronel Moldes, province of Salta (Chili, Criollo and Virginia tobacco) in mitigation of GHG responsible of overheating of the atmosphere. We considered two general strategies for mitigation: i) as a reservoir of carbon (C) and ii) as a source of renewable energy that would partially replace fossil fuels used. We evaluated this potential relative to other sources of biomass for which there were previous studies in the area. While the contribution as a reservoir of C is not permanent its study will allow comparing in relation to the natural biomass of the area. As a source of energy, employment of this biomass would avoid about 500 tCO₂/year (annual emissions of 90 citizens), with economic and environmental benefits.

Keywords: agricultural crops, bioenergy, climate change, Coronel Moldes, GHG mitigation.