

## POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASA RESIDUAL DE TABACO Y AJÍ EN EL MUNICIPIO DE CORONEL MOLDES (SALTA – ARGENTINA)

Silvina Manrique<sup>1</sup>, Judith Franco<sup>2</sup>, Virgilio Núñez<sup>3</sup> y Lucas Seghezzo<sup>2</sup>

CONICET - Universidad Nacional de Salta

INENCO- IRNED- CIUNSa

Avda. Bolivia 5150, A 4408 FVY Salta, Argentina

Tel.: 0387-4255533 – E-mail: [silmagda@unsa.edu.ar](mailto:silmagda@unsa.edu.ar)

### RESUMEN

La producción de tabaco criollo y ají, que son los principales cultivos del municipio de Coronel Moldes (Provincia de Salta, Argentina), genera grandes volúmenes de residuos orgánicos. Estos residuos, que actualmente son quemados en el campo, se consideran potenciales fuentes de energía. Este trabajo presenta los resultados de un muestreo aleatorio de dichos residuos en el 10% de la superficie total cultivada, en el que se midió peso húmedo en campo y parámetros físicos, químicos y energéticos en laboratorio. Se estimaron los Índices de Productividad, Disponibilidad y Residuo-Producto. La disponibilidad energética total de la región sería de 8.214.568,4 MJ, concentrada en la época invernal, aportando el tabaco el 84,6% de este valor. Esta oferta energética podría cubrir la demanda básica de energía eléctrica por hogar de todo el municipio o ser aprovechada en los mismos ciclos productivos, disminuyendo la demanda de combustibles fósiles. La metodología utilizada podría ser aplicable a otros municipios de la región.

**PALABRAS CLAVES:** biomasa, energía renovable, residuos agrícolas, tabaco, ají, Coronel Moldes.

### INTRODUCCIÓN

La biomasa a nivel mundial proporciona el 13% de la energía primaria consumida, comparable a la proporcionada por el gas natural o la energía nuclear (Puigdevall y Galindo, 2007). El empleo energético de la biomasa presenta numerosas ventajas, no sólo para quien la aprovecha sino para la sociedad toda. A nivel individual, las ventajas son fundamentalmente económicas, ya que puede disminuir los costos de la energía al reducir la cantidad de combustibles que se debe adquirir del exterior. A nivel de la sociedad en su conjunto, el uso de la biomasa, al igual que otras fuentes de energía renovable, presenta numerosas ventajas ambientales, sociales y económicas. En cuanto a los aspectos ambientales, la reducción de gases contaminantes a la atmósfera (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>) es uno de los objetivos primordiales de los países que fomentan su uso (por ejemplo los de la Unión Europea). Desde el punto de vista social y económico, el uso de la biomasa contribuye a la diversificación energética, a la reducción de dependencia de fuentes externas de energía, y a la creación de fuentes de trabajo rural (Frank y Smith, 1987; Hierro et al., 2000; Flavin et al., 2002; USDA, 2005).

El aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos exige una cuidadosa evaluación dada la enorme variedad de recursos que se incluyen dentro de este término, las características particulares de cada uno de ellos, las condiciones locales de donde se encuentran, y las muy variadas tecnologías de aprovechamiento de los mismos (Palz et al., 1980; Posselius y Stout, 1980; Ryan y Openshaw, 1991; Domínguez et al., 2003). La caracterización de las propiedades de la biomasa es fundamental al momento de seleccionar la aplicación tecnológica más apropiada para el aprovechamiento energético o para la producción de nuevos recursos tales como gas combustible o fracciones de hidrocarburos. El interés por la biomasa en los planes energéticos regionales e internacionales (Secretaría de Energía, 2004; García Ortega y Cantero, 2005) y la paulatina extensión de tecnologías de valorización de biomasa en la industria ha creado una progresiva demanda de conocimientos sobre el modo de estimación de los potenciales y posibilidades de utilización de la biomasa (Antolín Giraldo et al., 2000; Maserá et al., 2005; Bryan et al., 2008). La evaluación de la biomasa generada en una región debe tener en cuenta tanto su naturaleza (biomasa *primaria* originada en cultivos energéticos y residuos agrícolas o forestales, y biomasa *secundaria* originada a partir de residuos de industrias de transformación tales como papeleras, madereras o agroalimentarias) como su disponibilidad temporal y espacial (DaSilva, 1979; Bergman, 1980; Antolín Giraldo et al., 2000; Maserá et al., 2005). En efecto, según Puigdevall y Galindo (2007), es importante clasificar los recursos existentes en tres categorías: (a) *recursos potenciales o existentes* (aquellos presentes en una zona sin tener en cuenta otros usos de los mismos); (b) *recursos disponibles* (aquellos que quedan luego de sustraer los recursos destinados a usos establecidos y aquellos que no puedan ser utilizados por razones tales como la propiedad particular o criterios ambientales); y (c) *recursos utilizables* (recursos disponibles que pueden ser recolectados sin barreras técnicas o económicas).

<sup>1</sup> Becaria Doctoral del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)

<sup>2</sup> Investigador Adjunto CONICET. Instituto de Investigación en Energía No Convencional (INENCO)

<sup>3</sup> Director Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo (IRNED)

La identificación clara del potencial local o regional de generación de biomasa es el primer paso para la toma de una decisión fundamentada sobre la factibilidad de generación de energía a partir de esos recursos. El objetivo de este trabajo fue la cuantificación de la biomasa generada en el municipio de Coronel Moldes, a partir de sus principales producciones agrícolas, que son el tabaco criollo (*Nicotiana tabacum*) y el ají (*Capsicum annum*). Se evaluó el potencial energético de esta biomasa y se puso a punto una metodología de evaluación aplicable a otros municipios del Valle de Lerma. Cabe señalar que existen en el municipio otros tipos de biomasa que fueron evaluados previamente en un estudio multi-criterio junto a los mencionados en el presente -como parte de un estudio de tesis doctoral en curso- y cuyos resultados serán presentados oportunamente. Es interesante mencionar que Coronel Moldes se dedica principalmente al cultivo de tabaco criollo mientras que casi todos los restantes municipios del Valle de Lerma cultivan preponderantemente tabaco tipo Virginia o Burley. Interesa esta consideración en la medida en que los procesos de producción son diferentes y los residuos se generan en diferente manera y cantidad. También se cultivan en el municipio -aunque en inferior proporción- las otras variedades mencionadas, pero a los fines de su aprovechamiento, por los escasos volúmenes y dado que no quedan disponibles después de la cosecha, no se consideraron como biomasa potencial. En efecto, el cultivo de tabaco criollo, implica un sistema de manejo y producción particular: a mediados de abril las plantas son derribadas desde la base en el campo, dejándolas allí aproximadamente una semana, y luego se arman pabellones<sup>4</sup> de 21 (veintiún) plantas cada uno. Permanecen así cerca de un mes (hasta junio-julio) cuando comienza la cosecha o calchada de las hojas, que se va haciendo por tandas (primero las bajas -las hojas inferiores de las plantas- de menor valor y se asciende a las de superior calidad y valor). Aunque con particularidades, también las plantas de ají son derribadas y dejadas en el campo para su secado, armándose parvas<sup>5</sup> de varias plantas cada una. De este modo, los residuos de la cosecha quedan reunidos generalmente en los costados de los campos, y ya han sufrido una etapa de secado al aire. Ambos aspectos favorecen su aprovechamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de trabajo

El municipio de Coronel Moldes, departamento La Viña, provincia de Salta, pertenece al Valle de Lerma (Figura 1), en el cual se enclava la capital de dicha provincia, siendo una zona con aptitud agrícola y ganadera.

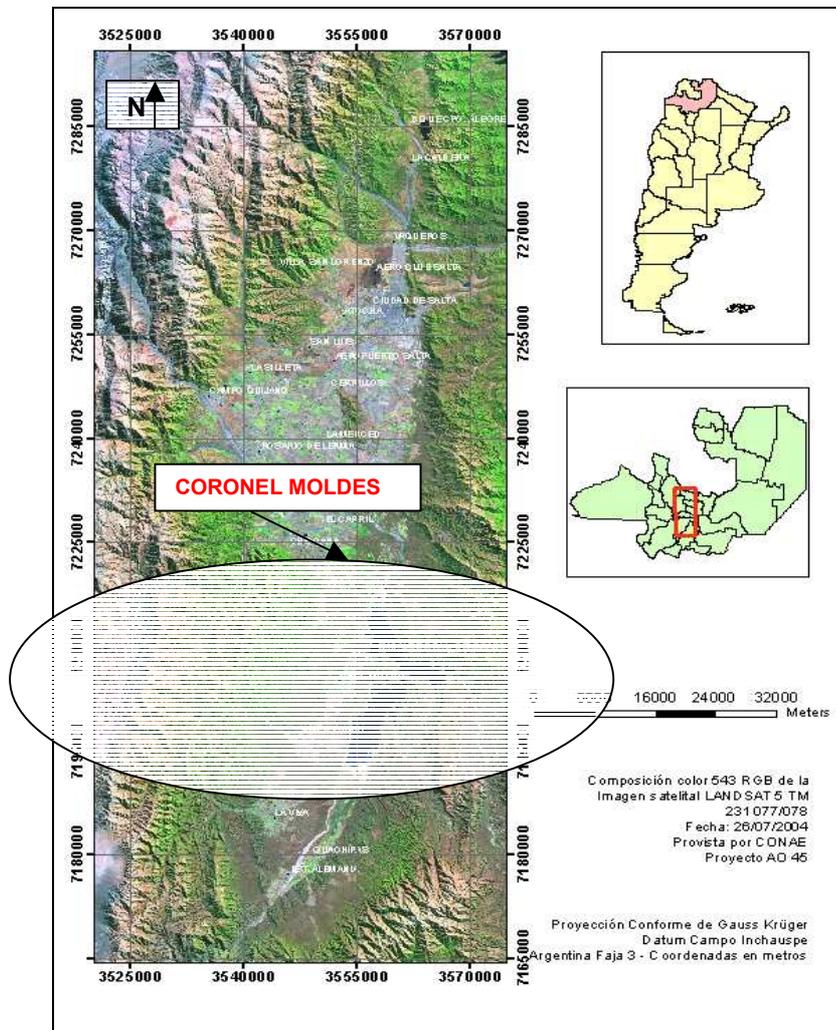


Figura 1: Área de trabajo (Núñez et al., 2007).

4 Disposición de las plantas en forma vertical, apoyadas unas contra otras de manera concéntrica, al estilo de chozas hindúes.

5 Apilamientos o montones de plantas.

Este municipio tiene una superficie de 840 km<sup>2</sup> de los cuales el 72% está ocupado por monte -generalmente destinado a ganadería extensiva-, el 14% corresponde a selva perteneciente a la Provincia Fitogeográfica de las Yungas (Cabrera, 1994), el 10% es zona montañosa precordillerana, el 3% se dedica a cultivos intensivos bajo riego (principalmente tabaco criollo y ají) y un 1% se encuentra urbanizado (Cutuk y Piacentini, 2004). La altitud 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/año (FUNIF, 1997; Cutuk y Piacentini, 2004). La población mayor de 14 años en el 2001 era de 2825 personas de las cuales más del 50% pertenecían a la categoría de económicamente activos (aquellos que trabajan o buscan trabajo) (INDEC, 2001).

### **Metodología de evaluación**

El estudio de la potencialidad energética de los residuos orgánicos seleccionados se realizó siguiendo el esquema metodológico que se describe a continuación:

#### **1. Muestreo de la biomasa**

Para realizar la estimación de la cantidad de biomasa generada, se procedió a realizar un *muestreo aleatorio* en un 10% de la superficie cultivada de cada uno de los cultivos pre-seleccionados. Diversos autores mencionan que, a los fines de investigación, la *intensidad de muestreo* -que determina la superficie de la muestra- debe ser por lo menos de 3% (Freese, 1967; Dauber, 1995). La cantidad de plantas procesadas en la superficie de muestreo fue de 0,01% de la cantidad total presente en el caso del tabaco (se cosecharon 75 plantas) y de 0,03% en el caso del ají (se cosecharon 35 plantas). El muestreo consistió en recolectar la planta completa antes de la cosecha, en dos situaciones diferentes: a) cuando el cultivo se hallaba en pie cercano a la época de derribe de las plantas; y b) luego del derribe de las plantas -pabellones o parvas-, momentos antes de su cosecha. En ambos casos, se cortaron las plantas al ras del suelo, obteniéndose el peso total de la misma (sin raíces) y luego se separaron las fracciones *producto* y *residuo*, pesándose por separado. 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. En el caso del ají, la fracción de interés son los frutos de las plantas, y el resto es descarte (tallo). Luego del pesado, las muestras fueron embolsadas, etiquetadas y llevadas al laboratorio para ser analizadas.

#### **2. Procesamiento y caracterización de los biomateriales<sup>6</sup>**

En laboratorio, todas las muestras colectadas en el campo fueron secadas en estufa a 100°C hasta obtener peso constante. Posteriormente, se procedió a caracterizar los recursos en función de los siguientes parámetros físicos, químicos y energéticos:

a) *humedad en base húmeda (HBH) (%)*: masa de agua contenida en la biomasa dividida por el peso total de la misma y

b) *humedad en base seca (HBS) (%)*: masa de agua contenida en la biomasa dividida el peso de la materia seca. Ambos porcentajes fueron determinados a partir del secado en estufas, pertenecientes a la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta (UNSa);

c) *distribución granulométrica*: formato y tamaño en que se encuentra el material susceptible de ser valorizado energéticamente; determinado por observación e información en terreno. Este estudio tiene especial sentido cuando se trabaja con biomasa triturada, astillada o molida (HSU The-An, 1996).

d) *análisis elemental*: determinación de los porcentajes en peso de los elementos químicos que constituyen un combustible. Abarca C, H, N, O, S, Cl. Los resultados del *análisis elemental* permiten conocer el aire preciso requerido para la combustión (aire estequiométrico) y puede utilizarse mediante formulaciones empíricas, para estimar el poder calorífico (energía) del combustible (García Rojas, 1997). Por lo general, C, O, H y N son los elementos con mayor presencia en la estructura molecular de la materia orgánica aunque los demás elementos interesan asimismo para ajustes tecnológicos. Este análisis se realizó en el Laboratorio Central de Análisis del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) de Cerrillos. Para estos análisis se realizó un sub-muestreo a partir de las muestras disponibles, tomando una pequeña fracción de cada planta y confeccionándose una muestra compuesta que fue llevada a laboratorio;

e) *análisis de componentes*: análisis de las estructuras macromoleculares preponderantes en su composición (compuestos lignocelulósicos o amiláceos, lípidos y proteínas) (Carrillo, 2004);

f) *poder calorífico (Kj/kg- Kcal./kg)*: Es la energía química del combustible que puede ser transformada directamente en energía térmica mediante un proceso termoquímico de oxidación. Puede expresarse como Poder Calorífico Superior (PCS) o Inferior (PCI). Las determinaciones se realizaron en base seca, por tanto la diferencia entre PCS y PCI depende únicamente de la energía consumida en la vaporización del agua formada a partir del hidrógeno contenido en el combustible. Se utilizó una bomba calorimétrica Parr 1108 Oxygen Combustion Bomb perteneciente a la Facultad de Ciencias Exactas de la UNSa.

Las *propiedades físicas* son importantes desde el punto de vista de la selección y diseño de equipos para el manejo físico del producto y posible necesidad de transformaciones adicionales para su uso final. Otras propiedades como *densidad real y aparente*, deben ser estimadas en el momento de decidir su logística de transporte. Las *propiedades químicas* sirven para caracterizar el comportamiento de la biomasa en los procesos químicos y termoquímicos cuyo fin es conseguir la generación de energía o la síntesis de nuevas sustancias. Cuando se trata de definir aspectos puntuales tales como la incidencia en el desgaste, el grado de abrasión de un determinado combustible o posibles problemas de escoriación en un equipo de conversión energética, es importante considerar un estudio de la *composición de cenizas y fusibilidad de cenizas*. Sin embargo, dada la complejidad de estos análisis debe evaluarse la necesidad de realizarlos. Finalmente, el estudio del poder calorífico (propiedad energética, o también química o termoquímica) es fundamental para conocer la capacidad del material de generar energía mediante procesos termoquímicos.

#### **3.**

6 Biomateriales y biomasa son tomados como sinónimos en este trabajo.

### 3.4. Localización de los recursos

A partir de la información brindada por la Cooperativa de Productores Tabacaleros (COPROTAB) de Salta, se pudo conocer la ubicación de las parcelas de tabaco criollo para las tres últimas campañas (2005-2008), como así la superficie de cada lote cultivada en el municipio. Con esta información, se calculó el promedio de superficie total cultivada de tabaco criollo. En el caso del ají, y frente a la falta de mapeo e información local disponible, se realizaron relevamientos de terreno y se entrevistaron productores locales y otros informantes calificados.

### 4.5. Cálculo de cantidad de recurso y capacidad energética

Con la información obtenida en etapas anteriores se calcularon los siguientes índices:

- *Índice de Productividad (Ip)*: calculado como producto obtenido por hectárea (kg) en promedio en la zona.
- *Índice de Disponibilidad (Id)*: calculado como residuos utilizables (kg) sobre residuos existentes (kg). Los valores de disponibilidad se calcularon en función de las apreciaciones locales, los criterios ambientales (posible reincorporación al suelo) y la superficie cultivada en terrenos privados, cuyos productores manifestaron no tener interés en su uso.
- *Índice Residuo-Producto (Ir/p)*: calculado como residuo generado (kg) por unidad de producto (kg).
- Superficie total cultivada en hectáreas (S): se calculó el promedio de las tres últimas campañas.
- *Biomasa potencial disponible en la zona*: el producto de los tres índices anteriores por la superficie total cultivada.
- *Energía potencial disponible en la zona*: calculada como la biomasa potencial disponible por el poder calorífico obtenido para cada uno de los materiales estudiados.

### 5.6. Estimación de demanda y uso final de la bioenergía<sup>7</sup>

A partir de información de consumos energéticos de bibliografía local, nacional e internacional (Almiñana y Climent Solé, 1995; Bueno Lorenzo, 2006; [www.energiarural.com](http://www.energiarural.com)), para una familia tipo de cuatro personas, se realizó un pequeño cálculo de demanda de energía eléctrica, partiendo de la hipótesis de que la llegada de electricidad a hogares carentes de ella podría mejorar su calidad de vida. Sin embargo, también existe la alternativa de que la energía satisfaga parte de los requerimientos energéticos de las explotaciones agrarias productoras de los cultivos estudiados. En función de la oferta energética se discute la posibilidad de cubrir la demanda del municipio para diferentes usos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de los Recursos

Los resultados en cuanto a HBH y HBS para tabaco y ají se muestran en la Figura 2, exponiéndose únicamente los valores de la fracción residuo potencialmente aprovechable (tallo).

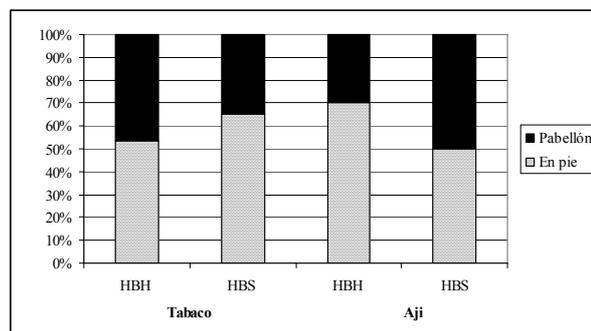


Figura 2. Humedad de tallo de tabaco y ají en dos situaciones previas a la cosecha de los cultivos (en pie y pabellones).

La humedad influye en el peso del material, lo que puede afectar en el caso del cálculo de costos para el transporte, como así, en el poder calorífico inferior del material, cuyo valor disminuye mientras mayor es el contenido de agua. Sin embargo, en el caso de tabaco criollo, el secado del residuo forma parte del ciclo productivo del mismo, quedando los residuos de la producción dispuestos de manera ordenada al costado de los campos de cultivo. El tallo o palo del tabaco (residuo de interés energético) cuyo contenido de humedad en verde es de 83% pasa a ser de 72% cuando queda finalmente disponible en el campo. Idéntico proceso sufre el ají, donde el residuo de interés o palo (más hojas), pasa de 70% a 36% cuando queda disponible en el campo. Sin embargo, deben trabajarse con cuidado los resultados de humedad típica de un residuo, ya que la humedad no sólo varía entre especies, y entre zonas geográficas, sino que además se ve muy afectada por el tipo y tiempo de almacenamiento, el movimiento del material dentro de la pila, el viento, la humedad relativa del ambiente, la temperatura media, la insolación, la cantidad de biomasa en zonas de sol y de sombra, el tamaño de partícula en almacenaje y la altitud, entre otros (Alakangas, 2005).

En cuanto a la *distribución granulométrica* el material se encuentra en forma de palos apilados al costado de los campos de cultivo que, según el tipo de tecnología que se emplee, puede requerir algún tipo de pre-tratamiento para la disminución de tamaño, compactación u otro (Plaskett, 1980; HSU The-An, 1996; Bun-Ca, 2002). Es importante esta determinación cuando se planifica el uso de sistemas de alimentación por transporte neumático, o la utilización de tecnologías de gasificación o combustión basadas en combustibles pulverizados (Estrada y Zapata Meneses, 2004).

<sup>7</sup> El término bioenergía se usa sólo como indicativo de que es energía que no procede de combustibles fósiles, sin hacer referencia a que su uso sea inocuo al ambiente.

Respecto al *análisis de componentes*, los materiales se pueden clasificar como *biomasa lignocelulósica*, cuyos componentes principales son celulosa, hemicelulosa y lignina (Carrillo, 2004). Este tipo de biomasa es la susceptible de ser valorizada en combustión, gasificación o pirólisis; siendo –sobre todo la combustión- procesos termoquímicos altamente conocidos (Posluszny, 1996; FAO, 2003; Bonilla, 2005; Padrón Pérez, 2005). El modo en que la biomasa evoluciona durante un proceso termoquímico y los productos obtenidos dependen de los componentes. Si bien el porcentaje de cada uno de estos tres constituyentes varía y depende de la naturaleza de la especie vegetal, en este caso, dado que los cultivos son de ciclo anual, sus tejidos no presentan altos contenidos de lignina, componente térmicamente más estable de la biomasa. La lignina es un polímero con gran número de ciclos aromáticos y su estructura depende del tipo de biomasa concreto que se utilice (Alakangas, 2005), siendo el componente que más contribuye a la formación de carbón vegetal. Celulosa y hemicelulosa son polímeros formados por unidades de azúcares (D-glucosa y D-xilosa, respectivamente) que se descomponen con mayor rapidez que las ligninas -cuando el material orgánico es sometido a calentamiento-, reaccionando primero las hemicelulosas debido a la menor masa molecular de sus elementos fundamentales (Carrillo, 2004). Han (1998) refiere los resultados de ensayos realizados con tabaco encontrando los siguientes porcentajes: 33,2% de celulosa, 14, 8% de hemicelulosa y 16,5% de lignina.

El *análisis elemental* realizado para ambos recursos se presenta en la Tabla 1. No se determinaron S, Cl, H, O, por lo que sería interesante explorar estos datos en investigaciones futuras a fin de conocer la participación del azufre -por los problemas de emisiones contaminantes de dióxido sulfuroso- y la participación del cloro -por su incidencia en la corrosión del interior de las calderas y posible formación de furanos y dioxinas (Bernhardt, 1980; Frank y Smith, 1987; Puigdevall y Galindo, 2007).

Elemento	Unidad	Tabaco criollo		Ají
		Hojas	Tallo	Tallo
Cenizas	%	20,9	9,5	4,8
Carbono orgánico	%	39,42	45,22	47,6
Nitrógeno total	%	3,08	2,25	1,0

Tabla 1. *Análisis elemental de las hojas y el tallo de tabaco criollo y de ají*

Los datos obtenidos se aproximan a los resultados mostrados para biomasa residual agrícola herbácea (ECN, 2008) en cuanto a contenido de carbono y nitrógeno. Werther et al. (2008) encuentran los siguientes porcentajes para pimiento (equiparable al ají): 45,7% de carbono, 3,4 % de nitrógeno y 7,4% de cenizas (base seca). Para tabaco, los análisis realizados por Wójtowicz et al. (2002) del tallo de tabaco se aproximan a los valores obtenidos en el presente trabajo: 45,8% de carbono, 2,77% de nitrógeno y 10,4% de cenizas, todos en base seca. En cuanto al *poder calorífico* de la fracción residuo de cada uno de los biomateriales, se obtuvieron los resultados que muestra la Tabla 2.

Materiales	PCS (kcal/kg)	PCI (kcal/kg)
Tabaco criollo (tallo)	4.012,68	3.746,32
Ají (tallo)	3.921,55	3.664,86

Tabla 2. *Poder calorífico de tabaco criollo y ají*

En consonancia con estudios internacionales sobre poder calorífico de biomasa que mencionan un valor promedio de 3500 kcal/kg (Larkin et al., 1980; Lehtovaara, 2004; Maserá et al., 2005), estos materiales se encuentran en el rango de 3.500-4.000 kcal/kg, variando en función del contenido de humedad. Werther et al. (2008) mencionan para pimiento un valor de 3.033,73 kcal/kg y Wójtowicz et al. (2002) determinaron para el tallo de tabaco 4.300 kcal/kg en base seca. Asimismo, los valores encontrados son similares a los determinados para otros residuos agrícolas herbáceos (ECN, 2008).

#### **Potencialidad Energética de los Recursos**

Se estimó una superficie cultivada promedio total de 470 ha de tabaco criollo y 68 ha de ají en el municipio. Los índices calculados arrojan los siguientes resultados:

- a. TABACO
  - *Índice de Productividad*: 2.200 kg/ha (promedio)
  - *Índice de Disponibilidad*<sup>8</sup>: 85%
  - *Índice de Residuo-Producto*: 0,505
  - *Biomasa potencial disponible en la zona*: 443,84 ton. La producción se encuentra concentrada en una época del año (invierno).
  - *Energía potencial disponible*: existe una disponibilidad energética de 6.950.153,2 MJ.
- b. AJÍ
  - *Índice de Productividad*: 2.100 kg/ha (promedio)
  - *Índice de Disponibilidad*: 85%
  - *Índice de Residuo-Producto*: 0,680
  - *Biomasa potencial disponible en la zona*: 82,5 ton. La producción se encuentra concentrada en invierno.
  - *Energía potencial disponible*: existe una disponibilidad energética de 1.264.415, 2 MJ.

8 El cálculo para cada uno de ellos de la fracción “utilizable”, debe definirse en talleres locales cuando se decida su aprovechamiento.

Los residuos generados por las principales producciones del municipio implican una oferta energética de 8.214.568,4 MJ, concentrada en la época invernal, aportando el tabaco el 84,6% de este valor. Sin embargo, deberían explorarse fuentes de biomasa que estén disponibles en la época lluviosa (verano). Por otra parte, dadas las características de producción continua del tabaco, que prácticamente no deja espacio de descanso a la tierra tornándola en una actividad netamente extractiva, sería interesante evaluar el contenido de nutrientes que podría aportar el residuo generado en sitios improductivos (Chasin et al., 1980; Larkin et al., 1980; Albrecht y Kandji, 2003).

### ***Demanda local de energía***

La conveniencia de generar su propia energía mediante sistemas de energía alternativa, se limita por el momento a los lugares donde conectarse a la red resulta imposible o costoso (Reddy et al., 1980; Siemons, 2001; Bueno Lorenzo, 2006), independientemente de los beneficios ambientales y sociales que puede reportar un reaprovechamiento de residuos. El uso de la bioenergía estudiada podrá traer aparejado un margen de beneficios económicos y financieros, por los ahorros en combustibles fósiles que podría representar para los habitantes (Dasilva, 1979; Rexen, 1980; Slessor et al., 1980; Goldemberg, 2004; García Ortega y Cantero, 2005; Honty y Gudynas, 2007). Por otra parte, el destino final de esta bioenergía disponible podría ser energía eléctrica y no simplemente calórica, dada la alta cantidad de hogares desprovistos de la misma. Para cubrir una demanda de aproximadamente 3 kwh/día, necesarios para mantener la iluminación de las viviendas, encender la televisión unas horas, e incluso hacer uso de una pequeña heladera, se tiene un consumo de 3.889 MJ/año/hogar, demanda que podría ser cubierta con los residuos estudiados y considerando un total de aproximadamente 750 hogares en el municipio. Deberán ajustarse estos valores en función del tipo de tecnología de conversión que se utilice y su eficiencia (Battero et al., 1996; Consejo Mundial de la Energía, 2004; Estrada y Zapata Meneses, 2004). Un estudio de costos de traslado sería necesario para conocer la factibilidad de que los pobladores alejados de la red puedan hacer uso de esta energía (Bueno Lorenzo, 2006). Otra posibilidad que cabe, según las propias manifestaciones locales, es el uso de estos residuos en el predio donde son generados, como una manera de abaratar costos en los procesos productivos (Siemons, 2001). Esta última aplicación, no sólo implicaría un menor impacto ambiental en la zona, por el cese de las quemas al aire libre de los residuos y la contaminación del aire consiguiente por las cenizas generadas, sino también disminuciones en los costos de producción actuales al requerir menor consumo de energía eléctrica de combustibles fósiles (AUMA, 2000; Ávila et al., 2001; Consejo Mundial de la Energía, 2004; Perlack et al., 2005). La biomasa estudiada se genera de manera continua y se encuentra disponible a poca distancia de los lugares donde se podría realizar su aprovechamiento. Esto es importante porque, en muchos casos, la dispersión y los bajos volúmenes en que se encuentran algunos tipos de biomasa, dificulta su aprovechamiento (Antolín Giraldo et al., 2000; Bonilla, 2005).

### **CONCLUSIONES**

Estimaciones preliminares de la biomasa residual agrícola generada en el municipio de Coronel Moldes a partir de las principales producciones locales (cultivo de tabaco criollo y ají) demuestran que existe un alto potencial de bioenergía disponible y factible de ser aprovechada.

La caracterización de los residuos mencionados indica que tienen un poder calorífico conforme a otros residuos agrícolas similares, con un valor promedio de 3.705,5 kcal/kg (PCI). El ciclo de producción de tabaco y ají tiene una etapa de secado al aire y disposición ordenada al lado de los campos de cultivo, lo que favorece su aprovechamiento.

La demanda de energía eléctrica del municipio de Coronel Moldes podría ser cubierta con los residuos estudiados.

El potencial energético de los residuos de tabaco y ají estudiados, permite señalar que líneas futuras de investigación deberían evaluar diferentes sistemas tecnológicos posibles de aplicarse en la región. Para esto, también deberían profundizarse algunos parámetros físicos y químicos para conocer la reacción de los materiales en diferentes sistemas de conversión energética. Además, sería interesante evaluar los aportes desde otras fuentes de biomasa en el municipio en la época estival, cuando no existe la oferta energética de los residuos estudiados.

El esquema metodológico seguido en el presente trabajo podría ser de aplicación para el estudio del potencial energético de los residuos orgánicos en otros municipios del Valle de Lerma.

### **ABSTRACT**

The production of tobacco and sweet peppers, the main crops in the Municipality of Coronel Moldes (Salta province, Argentina), generates a large amount of organic wastes. These wastes are currently being burnt at the site of production although they are a potential source of clean energy. In this work, wet weight and other physical, chemical, and energy parameters were determined on random samples of these wastes. Samples were taken on 10% of the total cultivated area. Productivity, Availability, and Waste-to-Product indices were determined based on the results obtained. More than 8 million MJ of energy could be obtained from the wastes generated in the area. Tobacco contributes with 84.6% of this figure. This amount of energy could cover most of the domestic requirements of the entire municipality or be used to minimize energy consumption during the production process. The methodology used in this work could be applicable to other municipalities in the region.

### **AGRADECIMIENTOS**

Al CONICET, donde ha sido becada la autora principal del presente; al INENCO, lugar físico donde se llevan adelante las investigaciones en el marco de la tesis doctoral; al IRNED, por la infraestructura y equipamiento brindado; a la COPROTAB y Mutual del Tabaco de Salta, por la información proporcionada; a las profesoras Silvia Blanco y María Antonia Toro, por la generosa colaboración para las determinaciones con la bomba calorimétrica; a la cátedra de Química Orgánica de la UNSa por la disponibilidad de las estufas; al Laboratorio de Análisis del INTA por facilitar los resultados solicitados; A la

Delegación de la Cámara del Tabaco en Moldes; a la Municipalidad de Coronel Moldes, por el vehículo en la zona y el personal de apoyo de campo.

## REFERENCIAS

- ALAKANGAS, E. 2005. Properties of wood fuels used in Finland- BIOSOUTH- project. Technical Research Centre of Finland, VTT Processes, Project report PRO2/P2030/05. Jyväskylä. 90 p.
- ALMIÑANA, D.G. y CLIMENT SOLE X.2005. Estudio sobre la producción de agua potable mediante biomasa forestal. Idea Sostenible. Universitat Politècnica de Catalunya. Año 3 N° 12.
- ANTOLIN GIRALDO, G.; L. GONZALEZ FALCONES; S. DIEZ CASTILLA y R. LOPEZ ALONSO. 2000. Evaluación del potencial de aprovechamiento energético de la biomasa de Castilla y León. CARTIF. España
- AUMA Consultant Company. 2000. Environmental Impacts Of The Production Of Electricity. Comparative Study Of Eight Technologies Of Electrical Generation. Summary. España.
- BATTERO, P. 1996. La estufa a leña de alto rendimiento. En: Aplicación de energías renovables para el desarrollo rural. INTA-INCUIPO. Seminario-taller. Santa Fe. Argentina.
- BERGMAN, K.G. 1980. Potential for energy cropping in Swedish agriculture. In: PALZ, W; CHARTIER, P & D.O. HALL. Edit. 1980. Energy from biomass. 1st E.C. Applied Science Publishers. C.E.C. London. Pp 896-902.
- BERNHARDT, W. 1980. Alternative fuels from biomass and their use in transport. In: PALZ, W; CHARTIER, P & D.O. HALL. Edit. 1980. Energy from biomass. 1st E.C. Conference. Applied Science Publishers. C.E.C. London. Pp.815-825.
- BONILLA, Y et al. 2005. Consumo de biomasa leñosa como fuente energética en la comunidad Sitio Del Infierno, Municipio Viñales, Provincia de Pinar del Río. Taller por el Desarrollo Forestal Sostenible. La Habana, Cuba.
- BRYAN, B.A.; J. WARD & T. HOBBS. 2008. An assessment of the economic and environmental potential of biomass production in an agricultural region. Land Use Policy 25 (2008), 553-549.
- BUENO LORENZO, M. 2006. Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú. Proyecto Final de Carrera. Universitat Politècnica de Catalunya. 95 p.
- BUN-CA, GEF, PNUD. 2002. Manuales sobre Energía Renovable: Biomasa. Biomasa Users Network. San José, Costa Rica. 52 p.
- CABRERA, 1994. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Primera reimpresión. Tomo II. Fasc.1. Editorial ACME S.A.C.I. Buenos Aires. 84 p.
- CARRILLO, L. 2004. Energía de biomasa. Ed. del autor. Jujuy. Argentina. 82 p.
- CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGIA. 2004. Comparación de los sistemas energéticos utilizando evaluación del ciclo de vida. Informe Especial. Comité Argentino. 77 p.
- CUTUK, R. y F. PIACENTINI. 2004. Diagnóstico y Plan de Acción del Municipio de Coronel Moldes. Agosto de 2004. 83 p.
- CHASSIN, M. Et al. 1980. Soil protection under maximum removal of organic matter. In: PALZ, W; CHARTIER, P & D.O. HALL. Edit. 1980. Energy from biomass. 1st E.C. Conference. Applied Science Publishers. Commission of the European Communities. London.
- DASILVA, E.J. 1979. Bioconversion of organic residues for rural communities. N° 15. UNU. 178 p.
- DAUBER, E. 1995. Guía práctica y teórica para el diseño de un inventario forestal de reconocimiento. Proyecto de manejo forestal sostenible. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medioambiente. Santa Cruz, Bolivia.
- DOMINGUEZ, J; D. SANCHEZ; P. LASRY; L. ESTEBAN. (2003): Evaluación de la biomasa potencial como recurso energético en la región de Navarra (España), GeoFocus (Informes y Comentarios), n° 3, p.1-10.
- ECN (Phyllis). 2008. <http://www.ecn.nl/phyllis/>
- ESTRADA, C.A. y A. ZAPATA MENESES. 2004. Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor. Scientia et Technica. Año X. N° 25. UTP.
- FAO. 1993. El gas de madera como combustible para motores. Estudio FAO Montes 72. 157 p.
- FLAVIN, C; FRENCH, H; G. GARDNER et al. State of the World 2002. A World Watch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. Special World Summit Edition. Norton & Company. United States of America.
- FRANK, J.R. y W.H. SMITH. 1987. Perspectives on biomass research. 1987. In: SMITH, W. H & J.R. FRANK. 1987. Methane from Biomass. Elsevier Applied Science. England. Pp. 455- 464.
- FREESE, F. 1967. Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales. Manual de agricultura N° 317. Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional (AID). México.
- FUNIF. 1997. Proyecto: diseño de instrumentos para una política productiva para la provincia de Salta. Fundación para la Integración Federal. Funif. Salta. Argentina.
- GARCIA ORTEGA, J.L. y A. CANTERO. 2005. Renovables 2050. Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España Peninsular- Greenpeace. 36 p.
- GARCIA ROJAS, L.M. et al. 1997. Influencia de la relación estequiométrica en la gasificación de residuos de cítrico. Monografías.com.
- GOLDEMBERG, J et al. 2004. World Energy Assessment. Overview 2004 update. New York. United Nations Development Programme.
- HAN, J.S. (1998). Properties of Nonwood fibers. 1998 Proceedings of the Korean Society of Wood Science and Technology annual meeting. <http://www.ecn.nl/phyllis/DataTable.asp- Número de ID 2570>
- HIERRO, J.L.; L.C. BRANCH; D. VILLARREAL Y K.L. CLARK. Predictive equations for biomass and fuel characteristics of Argentine shrubs. J. Range Management 53 (2000): 617-621.
- HONTY, G. y E. GUDYNAS. 2007. Energías alternativas. Agrocombustibles y Desarrollo Sostenible en América Latina y en el Caribe. Parte 1, 2, 3 y 4. CLAES. D 3 E. Observatorio del Desarrollo.
- HSU The-An. 1996. Pretreatment of biomass. In: WYMAN, C. E. 1996. Handbook on Bioethanol: Production and Utilization. Applied Energy Technology Series. Taylor & Francis Publishers. Washington. United States of America. Pp. 179- 212.
- INDEC. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Informe Anual 2001.
- LARKIN, S.B.; MORRIS, R.M.; NOBLE, D.H. y R.W. RADLEY. 1980. Production, distribution and energy content of agricultural wastes and residues in the United Kingdom. In: PALZ, W; CHARTIER, P & D.O. HALL. Edit. 1980. Energy from biomass. 1st E.C. Conference. Applied Science Publishers. Commission of the European Communities. London. Pp. 124-130.
- LEHTOVAARA, J. 2004. Calorific Value: Status of the standardisation. Standardisation of solid biofuels. Internacional Conference, VAPO. Leipzig, Germany.
- MASERA, O.R., J. ARGUILLON y B. GAMINO. 2005. Estimación del recurso y prospectiva tecnológica de la biomasa como energético renovable en México. Anexo 2. UNAM. 118 p.
- NUÑEZ, V. et al. 2007. Cartografía digital generada en el marco del proyecto CIUNSA 1345: Pautas para el ordenamiento territorial del Valle de Lerma. Parte II. Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Salta.
- PADRON PEREZ, R et al. 2005. Producción de electricidad utilizando biomasa forestal como combustible. Taller por el Desarrollo Forestal Sostenible. La Habana, Cuba.
- PALZ, W; CHARTIER, P y D.O. HALL. Edit. 1980. Energy from biomass. 1st E.C. Conference. Applied Science Publishers. C.E.C. London.

- PERLACK, R.D.; L. WRIGHT; A. TURHOLLOW; R. GRAHAM. 2005. Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: the technical feasibility of a billion- ton annual supply. U.S. Department of Energy and U.S. Department of Agriculture. 60 p.
- PLASKETT, L.G. 1980. The potential role of crop fractionation in the production of energy from biomass. In: PALZ, W; CHARTIER, P & D.O. HALL. Edit. 1980. Energy from biomass. 1st E.C. Conference. Applied Science Publishers. CEC. London.
- POSLUSZNY, L.H; CRUZ, E.R. y J.A. POSLUSZNY. 1996. Generación de calor a partir de los residuos biomásicos en pequeña escala. En: Aplicación de energías renovables para el desarrollo rural. INTA-INCUIPO. Seminario-taller. Santa Fe. Argentina.
- POSSELIUS, J.H. y B.A. STOUT. 1980. Crop residues availability for fuel. In: PALZ, W; CHARTIER, P y D.O. HALL. Edit. 1980. Energy from biomass. 1st E.C. Conference. Applied Science Publishers. Commission of the European Communities. London.
- PUIGDEVALL, J. y GALINDO, D. 2007. Apuntes del Curso De Postgrado de Energía de la Biomasa de la Maestría en Energías Renovables de la Univesidad de Zaragoza, España. Febrero 2007.
- REDDY, A.K. 1980. An Indian village agricultural ecosystem –Case study of Ungra Village. Part II: Discussion. In: PALZ, W; CHARTIER, P & D.O. HALL. Edit. 1980. Energy from biomass. 1st E.C. Conference. Applied Science Publishers. C.E.C. London. Pp. 727-734.
- REXEN, F.P. 1980. Straw and animal residues available for energy. In: PALZ, W; CHARTIER, P y D.O. HALL. Edit. 1980. Energy from biomass. 1st E.C. Conference. Applied Science Publishers. Commission of the European Communities. London.
- RYAN, P. y K. OPENSHAW. 1991. Assessment of biomass energy resources: a discussion on its need and methodology. Industry and Energy Departament Working Paper. Energy Series paper n° 48. The World Bank. Washington. 89 p.
- Secretaría de Energía. Argentina. Energías Renovables 2004. Energía Biomasa. Dirección Nacional de Promoción- Subsecretaría de Energía Eléctrica.
- SIEMONS, R.V. 2001. Identifying a role for biomasa gasification in rural electrification in developing countries: the economic perspectiva. Biomasa and Bioenergy. Vol. 20, Issue 4. Pages 271-285.
- SLESSER, M; LEWIS, C.W. y I. HOUNAM. 1980. A strategy of development in the third world via biomass resource utilization. In: PALZ, W; CHARTIER, P & D.O. HALL. Edit. 1980. Energy from biomass. 1st E.C. Conference. Applied Science Publishers. C.E.C. London. Pp. 752-757.
- USDA. 2005. Biomass as Feedstock for a Bioenergy and Bioproducts Industry: the Technical Feasibiity of a Billion-Ton Annual Supply. U.S. Department of Energy and U.S. Department of Agriculture. 60 p.
- WERTHER, J.; SAENGER, M.; HARTGE, E.U.; OGADA, T.; SIAGI, Z. 2008. Combustion of agricultural residues; Prog. Energy Combust. Sci. 26, 1-27.
- WISELOGEL, A; TYSON, S y D. JOHNSON. 1996. Biomass feedstock resources and composition. In: WYMAN, C. E. 1996. Handbook on Bioethanol: Production and Utilization. Applied Energy Technology Series. Taylor & Francis Publishers. Washington. United States of America. pp. 105-118.
- WÓJTOWICZ, M.A., BAASILAKIS, R., SMITH, W.W., y CHEN, R.M. 2002. Carangelo: Modeling the evolution of volatile species during tobacco pyrolysis. J. Anal. Appl. Pyrolysis 66 (2002) 235-261.