

## Empleo de la relación residuo producto para la estimación de biomasa cañera potencial. Caso de estudio

Lizet Rodríguez-Machín<sup>1</sup>; Raúl Alberto. Pérez-Bermúdez<sup>1</sup>; Diubel Humberto Bretón-Glean<sup>1</sup>;  
Luis Ernesto Arteaga-Pérez<sup>2</sup>; Bárbaro Fidel Medina-Álvarez<sup>1</sup>

1. Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales, Facultad Ingeniería Mecánica, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV), Carretera a Camajuaní km 5,5; Santa Clara, Villa Clara, Cuba. [lizetr@uclv.edu.cu](mailto:lizetr@uclv.edu.cu)
2. Facultad Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV), Carretera a Camajuaní km 5,5; Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

### RESUMEN

*El panorama energético de la biomasa va tomando un mayor auge ante el vaticinado agotamiento de los combustibles fósiles, el impacto ambiental que representa y la seguridad energética asociada. El presente trabajo se desarrolla en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Héctor Rodríguez. Esta unidad emplea el bagazo obtenido en el proceso industrial de producción de azúcar para la generación de calor y de electricidad sin estimar adecuadamente su potencial. El propósito de esta investigación es aplicar las ecuaciones matemáticas para la estimación de la biomasa herbácea potencial al caso de la biomasa cañera (bagazo) y conocer su disponibilidad con fines energéticos. Se aplicó el método de evaluación con relación residuo producto (RRP), el valor calculado está dentro del rango de los reportados en la literatura, pero fue preciso emplear el RRP calculado para el país por ser este más representativo que el calculado para la UEB. Se estimó que la biomasa potencial en central azucarero entre 2007 y 2012 fue de 98 856 t de bagazo. El potencial bruto máximo fue de 3 222 MW-h/día, lo cual permite establecer el límite superior a alcanzar en cuanto a potencial de biomasa se refiere en el proceso industrial pero no tiene en cuenta la totalidad de la caña producida en el proceso agrícola.*

**Palabras clave:** bagazo, potencial, estimación, relación residuo producto.

### ABSTRACT

*The current scenario of energy from biomass is taking a major boom since the prediction of the exhaustion of fossil fuels, the inherent environmental impact and the necessity of energy safety associated. The study presented herein was carried out in Hector Rodriguez Entrepreneurial Base Unit (EBU). This unit uses the bagasse obtained in the sugar production process for the generation of heat and electricity without an adequate estimation of its potential. The purpose of this research is to apply the mathematical equations for estimating the potential herbaceous biomass to the case of sugar cane biomass (bagasse), enabling their availability for energy purposes. Evaluation method concerning to residue product ratio (RRP) was applied. The calculated value is within the range of those reported in the literature, but it was necessary to use the estimated RRP for the whole country since it shows a higher representativity than that calculated for the UEB. It was estimated that the potential in sugar mill biomass between 2007 and 2012 was 98 856 t of bagasse. The maximum gross potential is MW-h/día 3222, which sets the upper limit to achieve a biomass potential regarding to the biomass in the manufacturing process but does not take into account all cane produced in the agricultural process.*

**Keywords:** bagasse, potential, estimation, residue-to-product ratio.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad los combustibles fósiles constituyen la fuente de energía más empleada mundialmente para generar electricidad. Según datos publicados por Exxon Mobil, en el año 2010 la energía que demandó esta actividad provino de los combustibles fósiles (67 %), de fuentes energéticas renovables 20 % y de energía nuclear 13 % (1).

La biomasa representa entre 12 y 15 % de la energía que se consume actualmente a nivel mundial y 35 % del consumo en los países del tercer mundo (2). El 64 % de la energía proveniente de la biomasa se produce a partir de la madera y sus residuos, seguido por los residuos sólidos urbanos (24 %), los residuos agrícolas (5 %) y los gases de vertedero (5 %) (3-5). En el mundo se han establecido estrategias para enfrentar las consecuencias del uso de los combustibles fósiles como fuentes principales de energía primaria, entre ellas están las de ahorro de energía que incluyen: aumento de la exergía del portador de energía y el uso de Fuentes Renovables de Energía (FRE) como la solución más lógica ante esta problemática.

En Cuba, las principales fuentes de biomasa para la producción de energía se encuentran concentradas en el bagazo de caña (incluyendo la paja de caña) y la leña; representando estas alrededor de 1 249 700 toneladas equivalentes de petróleo (TEP) (99,6 % del total) (6). Su utilización sostenible para la generación eléctrica puede contribuir a desarrollar un sistema energético distribuido, con participación significativa de las fuentes renovables e impactos positivos en el entorno y la economía local (7).

Los lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución tienen bien establecida la política energética del país en cuanto a las FRE y el sector agroindustrial asociado, sobre todo a la producción azucarera; los que se refieren a la agroindustria y las producciones azucareras, incluyendo sus derivados. Señalan como objetivos principales, potenciar el aprovechamiento de las distintas fuentes renovables de energía entre las que se encuentra la biomasa; el incremento de la producción de caña con el reordenamiento de las áreas, así como, aumentar de forma gradual la producción de azúcar y derivados de la caña (8).

La disponibilidad de la fuente apropiada, aspectos económicos relacionados con la cosecha, almacenamiento, transportación y las opciones tecnológicas para convertir el combustible son elementos fundamentales para el éxito de un proyecto vinculado con el uso de la biomasa. Las principales razones del fracaso de proyectos energéticos de biomasa son los cambios en el suministro o la demanda de biomasa y cambios en la calidad de la misma. Las evaluaciones de biomasa suelen res-

ponder a la necesidad de conocer la cantidad existente o utilizable de un recurso. Estas deben ser útiles para conocer el tamaño o capacidad de producción de energía de una zona, o para la toma de decisión de la ubicación de una planta (9).

Teniendo en cuenta que no se han encontrado reportes, en Cuba, en cuanto a la determinación de la Relación Residuo Producto para el bagazo y su empleo en la estimación de la biomasa cañera potencial, se llevó a cabo el presente trabajo para el caso de estudio UEB Héctor Rodríguez, perteneciente al municipio Sagua la Grande en la provincia Villa Clara. Este fue uno de los centrales que se mantuvo moliendo tras la depresión de la industria azucarera a principios del milenio. Esta UEB cuenta con 14 cooperativas agropecuarias con 12 711 ha destinadas a la producción agrícola de la caña de azúcar. El propósito del presente estudio es determinar la Relación Residuo Producto para el bagazo en el país y aplicar ecuaciones para la estimación de la biomasa potencial al mencionado caso de estudio que permita conocer su disponibilidad con fines energéticos.

## DESARROLLO

Las preocupaciones medioambientales pueden ayudar económicamente a la biomasa haciéndola un combustible competitivo. Al contrario de los combustibles fósiles, la biomasa no genera tras la combustión un aumento neto del dióxido de carbono ya que el emitido fue, y de nuevo es, fuente para generar la biomasa. Además, posee bajas temperaturas de combustión, lo cual ayuda a reducir las emisiones de NOx. Sin embargo, a menos que la biomasa sea usada de forma eficiente, moderna y limpia, los beneficios medioambientales sólo tendrán lugar parcialmente. Sin embargo, presenta como desventaja el contenido de reducidas cantidades de azufre, produciendo pequeñas emanaciones de dióxido de este componente (2).

Se han realizado numerosos estudios para evaluar la contribución de la biomasa al suministro de energía global futuro, los que difieren significativamente en sus conclusiones. Las valoraciones de recursos más optimistas reportan un potencial futuro de bioenergía de tamaño similar, o aún mayor, que el consumo actual de energía primaria global. Sin embargo, también hay valoraciones de potenciales de bioenergía más bajos, que estiman para el año 2050 unos 47 EJ/año (ExaJoule/año), casi diez veces menor que los estimados más altos de 450 EJ/año. Además, la demanda futura puede ser alta aún en ausencia de políticas dirigidas a mitigar el cambio climático. Por otro lado, la cantidad total de residuos de los sectores alimenticio y forestal son sustanciales en

un contexto global, y se estima para el año 2100 un potencial de alrededor de 270 EJ/año (2, 10).

Las ventajas del uso de la biomasa para la producción de biocombustible se centran en el impacto positivo en las economías locales, al completar el ciclo de producción, comercialización y uso local; además de la versatilidad para satisfacer demandas de diferentes servicios energéticos tanto en la producción de electricidad, calor y frío. La mayor complejidad radica precisamente en la necesidad de implementar todos los eslabones de la cadena tecnológica de producción de biomasa, conversión en biocombustible y cambios tecnológicos en los equipos de uso final.

### **Procesos de transformación de la biomasa**

La conversión de la biomasa en combustible permite la producción de tres tipos de biocombustibles:

- Biocombustibles sólidos: Por ejemplo astillas de madera, briquetas, pellets, etc.
- Biocombustibles líquidos: En este grupo se incluyen los productos de la pirólisis, el etanol y el biodiesel.
- Biocombustibles gaseosos: Los más comunes son el biogás producto de la digestión anaeróbica de residuales orgánicos y el gas pobre o de madera obtenido a partir de la gasificación termoquímica de la biomasa.

Para la obtención de estos productos existen procesos de conversión de biomasa tales como los termo-químicos, biológicos y mecánicos. En el primer caso se emplean tres vías: la pirólisis, la gasificación y la combustión, en el segundo los productos se obtienen por fermentación o digestión (11).

### **Estimación de la biomasa potencial**

Las evaluaciones de recursos son una parte fundamental en el estudio de viabilidad de una planta de biomasa, y ello requiere conocer bien las potencialidades de generación de biomasa según su naturaleza, sea esta primaria o secundaria. Estas deben permitir conocer los recursos potenciales y/o utilizables en una zona proporcionando información válida de acuerdo al nivel de detalle deseable, además de facilitar la toma de decisión de la ubicación de una planta.

En la actualidad existen dos campos en los que se realiza la evaluación de la biomasa residual potencial y disponible, ellos son el agrícola y el forestal. A su vez, la biomasa agrícola se ha dividido en dos grupos: biomasa de cultivos herbáceos y biomasa de poda de cultivos leñosos. El estudio de evaluación se ha dividido en tres partes:

1. Estimación de la biomasa potencial. La biomasa potencial es aquella que se genera o es posible generar en una zona.

2. Estimación de la biomasa disponible. La biomasa disponible es la parte de la biomasa potencial que es posible utilizar en unas condiciones determinadas.
3. Revisión y generación de resultados.

Existen métodos de evaluación con relaciones RRS y RRP. La RRS es la relación residuo superficie y RRP es la relación residuo producto (12). Los valores son sólo indicativos del potencial de residuos disponibles para su uso como fuente de energía. Puede haber cierta confusión acerca de cómo exactamente ha sido calculada la RRP, y el sentido de la proporción. En general, la relación indica la cantidad de residuo disponible por cada tonelada de producto del cultivo (13).

La RRS tiene la ventaja de ser más sencillo de obtener por conversaciones con los agricultores o por medidas de campo. Basta con conocer las superficies dedicadas a un cultivo para obtener una aproximación del residuo potencial. Sin embargo la RRS está sometida a una gran variabilidad. Ambas metodologías son las más extendidas en el campo de la evaluación de recursos. Partiendo de datos de hectáreas (terreno agrícola o forestal) y multiplicando por la RRS, se puede estimar la cantidad de biomasa producida en dicha área (generalmente en base anual). Si el dato conocido es la producción (agrícola, forestal o de producto final en una industria) se puede hallar la cantidad de biomasa, multiplicando dicha producción por el RRP. Dado que para el uso de la RRS o RRP adecuado se necesita de un ingente esfuerzo de muestreo para cada especie, suele ser aceptado el uso de relaciones promedios obtenidas de la bibliografía (12).

Las metodologías de estimación del potencial de biomasa se adecuan al tipo de biomasa, estas pueden ser: estimación de la biomasa residual agrícola herbácea, estimación de la biomasa residual agrícola leñosa y la estimación de la biomasa residual forestal. El objeto de estudio del presente trabajo se centra en la biomasa residual agrícola herbácea.

### **Estudio de la biomasa residual agrícola herbácea potencial**

La utilización de la RRP es el método más extendido para la estimación de existencias de biomasa herbácea. Para cuantificar la biomasa herbácea se parte de la superficie y el rendimiento por cultivo y se calcula la producción media de cultivo en un período de años, ver ecuación 1. Las relaciones RRP son muy variables, según la fuente consultada, varían según la especie, la variedad, la temporada de cosecha y el tipo de maquinaria utilizada (14).

$$Biomasa\ potencial = \left[ \sum_n \frac{(Superficie_n \cdot Rendimiento_n)}{n} \right] * RRP \quad (1)$$

Donde:

Superficie (ha),

Rendimiento (t/ha),

RRP: Relación Residuo Producto ( $t_{residuo}/t_{cultivo}$ ).

En los residuos herbáceos normalmente el grano o fruto es el producto principal que se recolecta anualmente mientras que el resto de la planta se suele considerar residuo o subproducto. La forma más usual de estimar el residuo es mediante el uso de índices de superficie o del tipo residuo/producto. Para la estimación de estos índices se pueden emplear varios métodos: muestreo previo a la cosecha, muestreo tras la cosecha y muestreo de la producción total de parcelas. Teniendo en cuenta que la biomasa cañera se encuentra dentro del grupo de biomasa herbácea, en el presente trabajo se empleará el método que utiliza la RRP.

### Disponibilidad de la biomasa y estimación del potencial bruto

La metodología para la caracterización de la fuente que origina o genera la biomasa es a partir de fuentes que proporcionan datos estadísticos generales e información propias del sector de la actividad económica en estudio. La información se recopila y se presenta su distribución por región. Se determina la cantidad de desecho que se genera y se analiza la fuente y el nivel de confiabilidad de la información obtenida. Posteriormente se procede a extrapolar la información hacia el universo por región, con datos específicos, si existen, si no se adoptan ciertas consideraciones que permitan evaluar la biomasa. A continuación se procede a establecer un rango de valores, que contenga con probabilidad la información. Por último se recopilan datos de las propiedades físicas, químicas, termodinámicas y el calor específico del combustible de la fuente de biomasa para la estimación del potencial energético (17). El potencial se obtiene con la siguiente relación:

$$Potencial\ bruto = Biomasa\ disponible \cdot CEC \quad (2)$$

Donde:

Biomasa disponible (kg, m<sup>3</sup>, ha/ tiempo),

CEC: Calor específico del combustible (J/kg, m<sup>3</sup>).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suministro total de energía primaria en Cuba, ha sido dominado por el petróleo y la biomasa

cañera (ver tabla 1). En la generación de electricidad, los combustibles fósiles representaron el 81 % de la energía consumida para este fin, el restante 19 % de las fuentes energéticas lo constituyeron la biomasa con 15 %, y otras FRE incluyendo la hidráulica, eólica y solar.

**Tabla 1.** Producción nacional de energía primaria en el 2010. Fuente: adaptado del anuario estadístico de Cuba 2010 [8].

Producción nacional de energía	Valor
Petróleo, millones t	3 024 <sup>(a)</sup>
Gas natural, millones m <sup>3</sup>	1 072
Madera, millones m <sup>3</sup>	1 141
Productos de la caña de azúcar, millones t	3 488
De ellos bagazo de caña de azúcar, millones t	3 027

(a) Incluyendo mezcla de otros derivados que son añadidos al petróleo para disminuir su viscosidad.

Típicamente, cada tonelada métrica de caña de azúcar procesada rinde 0,11 toneladas métricas de azúcar, mientras genera también 0,27 toneladas métricas de bagazo y 0,25 toneladas métricas de residuos agrícolas. En la tabla 2 se muestran los principales residuos del procesamiento de la caña de azúcar incluyendo el bagazo y los desechos de la caña de azúcar 'RAC'.

**Tabla 2.** Indicadores para el cálculo de la biomasa cañera. [17]

Biomasa	t/t caña molida
Bagazo + RAC en el central azucarero	31,9 %
RAC dejados en campo	16,7 %
RAC separados en centro de limpieza	11,0 %

Fuente: Fundamentos de termotecnia (17)

### Estimación de la biomasa cañera y su potencial, caso de estudio UEB Héctor Rodríguez

El esquema de generación del central azucarero Héctor Rodríguez que se presenta en la figura 1 muestra de forma general su estructura. El mismo está compuesto por tres calderas de vapor, una de 25 t de vapor/h, marca Stirling de fabricación norteamericana y dos Retal de 55 t de vapor/h, de fabricación nacional. Estas se alimentan con el bagazo

obtenido en el proceso industrial y parte de la paja proveniente de la caña que no fue completamente beneficiada. El vapor directo de las calderas es de 1,8 MPa a 340 °C de temperatura como promedio, el cual alimenta a los turbogeneradores. El central cuenta con dos turbogeneradores de marca Kaluga de fabricación Rusa que generan una potencia de 4 MW cada uno. El vapor de escape procedente de los turbogeneradores se utiliza en los pre- evaporadores. Este vapor es de una presión promedio de 0,11 MPa. El vapor de fuga de los pre-evaporadores, unido con el de escape de los turbogeneradores se utiliza en los procesos tecnológicos (tachos) para la obtención de azúcar. Los calentadores primarios y secundarios utilizan vapor de escape de 0,05 MPa.

El central tiene una capacidad nominal de molienda de 4 600 t de caña/día (191 t de caña/h), de donde se obtiene entre el 30 y el 33 % de bagazo de la caña molida por estimación. El balance energético refleja que diariamente 6 t de bagazo/h quedan disponibles para otros usos, en el caso de este central, el excedente se vende a la refinería Quintín Banderas.

#### Potencial de biomasa con fines energéticos

Se recopilaron los datos del comportamiento de las distintas unidades productoras de caña de azúcar pertenecientes a la UEB Héctor Rodríguez entre el 2007 y el 2012, y se calcularon los rendimientos de caña por área de tierra sembrada, así como las áreas destinadas al cultivo. Con los valores promedio de los rendimientos por área cultivada y el área destinada para la siembra se obtuvo la producción de caña, que se ofrece en la tabla 3.

El central azucarero emplea 1 080 m<sup>3</sup> de leña para las diferentes pruebas de funcionamiento del equipamiento fabril y la arrancada de las calderas. En la casa de bagazo es donde se almacena la biomasa cañera; la cual tiene una capacidad de almacenamiento de alrededor de 800 t de bagazo. La biomasa cañera se utiliza como combustible en el período de zafra que comprende de tres a cuatro meses en el año.

**Tabla 3.** Producción de caña en la UEB Héctor Rodríguez en los años de estudio

Año	Producción de caña (t)
2007	317 963
2008	396 046
2009	409 574
2010	338 210
2011	343 476
2012	391 543
<b>Promedio</b>	<b>366 135</b>

#### Estimación de la biomasa potencial

La estimación de la biomasa potencial en el central azucarero, desde el punto de vista estratégico, puede ser una herramienta eficaz con el fin de contar con información valiosa que permita conocer la cantidad de bagazo disponible y poder realizar una planificación más acertada. Contando con las cifras de producción de la caña en la UEB y los residuos generados, así como el área total de caña sembrada y los rendimientos de estas últimas, bastará para conocer el potencial con que se cuenta; en lo adelante se determinan los elementos mencionados anteriormente.

La UEB Héctor Rodríguez cuenta con un área destinada al cultivo de caña de azúcar de 12 711 ha promediada a partir de las últimas seis zafras. La industria azucarera está buscando alternativas para obtener un mayor rendimiento en las cosechas y lograr como meta mínima 35 t de caña/ha en cada unidad productora. La media de los valores de humedad del bagazo, en la unidad en estudio, es 49,44 %, el valor se acerca al reportado por Curbelo en el 2011 quien presentó un valor promedio en el país de 50 % (16).

#### Biomasa residual potencial

Con el promedio de superficie por rendimiento y el valor de la relación residuo producto para el bagazo se puede calcular la biomasa potencial,



**Figura 1.** Esquema de generación del central azucarero Héctor Rodríguez.

partiendo de la ecuación (1). Algunos autores reportaron valores de RRP para el bagazo de 0,25 y 0,3 respectivamente (17,18). Los autores del presente trabajo determinaron el valor de RRP para bagazo de la caña de azúcar en Cuba, se utilizó para el cálculo la siguiente ecuación:

$$RRP = \frac{\text{Generación de bagazo}}{\text{Producción de caña}} \cdot \text{Humedad}$$

Donde:

Generación de bagazo:(t de bagazo)

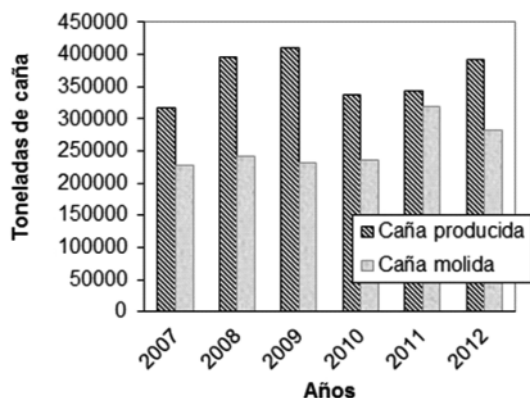
Producción de caña:(tcaña),

RRP: Relación Residuo Producto (t de bagazo / t de caña).

Para ello se recopilan los datos, entre el 2007 y el 2012, del comportamiento de las distintas unidades productoras de caña de azúcar pertenecientes a la UEB Héctor Rodríguez, se calculan los rendimientos de caña por área de tierra sembrada, así como las áreas destinadas al cultivo de caña. Con los valores promedio de los rendimientos (3) de caña por área cultivada que se muestran en la figura 2 y el área destinada para la siembra de caña se obtiene la producción de caña para cada año, la cifra promedio en el período es de 366 135 t de caña.

En la tabla 4 se muestran las RRP calculadas en los años de estudio para la UEB Héctor Rodríguez. Estos valores se determinan a partir del bagazo producido en cada zafra con respecto a la producción de caña, estas relaciones se calculan en base húmeda. El valor promedio de las RRP calculadas para la UEB es de 0,22. Se calculó además esta relación para el país entre el 2005 y el 2010, resultando este valor igual a 0,27.

Con la media de la producción de caña y el valor de la RRP promedio se obtienen los datos



**Figura 2.** Producción y molienda de caña en la UEB Héctor Rodríguez entre 2007 y 2012.

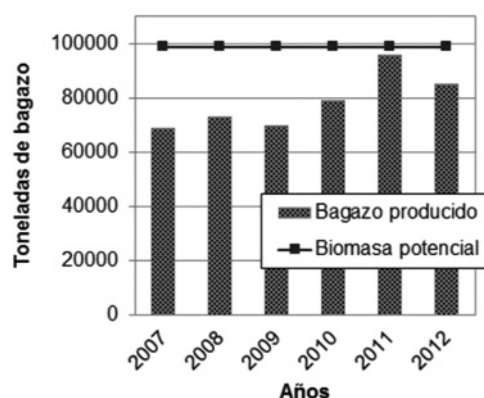
**Tabla 4.** Valores calculados de RRP en base húmeda (49,44%) entre 2007 y 2012

Año	RRP
2007	0,22
2007	0,22
2007	0,22
2007	0,22
2007	0,22

necesarios para determinar la biomasa potencial en la UEB Héctor Rodríguez, este valor es de 81 938 t de bagazo para el período comprendido entre 2007 y 2012 con RRP de 0,22. La producción de biomasa cañera está por debajo del valor de la biomasa potencial estimada, excepto para el 2011 y 2012. Esto indica que el valor del RRP no es adecuado para la estimación, por lo que es necesario un mayor número de datos para el cálculo del promedio del mismo, teniendo en cuenta las irregularidades en la zafra en los años de estudio.

Con el valor de la RRP se recalcula la biomasa potencial, siendo este valor 98 856 t de bagazo. En la figura 3 se presenta el bagazo producido en el área de molienda, en el período de estudio y se compara con la cuantía de biomasa potencial calculada empleando el método de estimación con RRP. Con el valor de RRP asumido, la producción de biomasa cañera está por debajo del valor de la biomasa potencial estimada para todo el período de estudio, reflejando que se puede tomar el valor de RRP del país para el este y otros casos de estudio.

La diferencia entre el valor del bagazo producido y la biomasa potencial estimada radica en que el último valor se determina a través de la superficie destinada para la siembra y el rendimiento de caña estimado. Además, existe un potencial de bio-



**Figura 3.** Comparación de la biomasa potencial estimada con la producción de bagazo.

masa cañera no cuantificado, sin utilizar, entre las posibles razones se tienen que una parte se pierde en los campos por no realizar un corte adecuado (ya sea manual o mecanizado), el cogollo y parte de la paja no se recolectan y otra parte de la paja no se recolectan en los centros de acopio, donde se beneficia la caña cortada. Otra causa puede ser que en ocasiones no se muele toda la caña por cuestiones estratégicas, y otras se deja para moler en la siguiente zafra.

Lo anterior indica que existe potencial de biomasa, que si una parte de ella se colectara pudiera ser empleado, al igual que el bagazo, en la generación de electricidad, el resto quedaría en el suelo como protección e incorporación de nutrientes al mismo. Adicionalmente se puede analizar la posibilidad de emplear otros métodos de conversión como la pirólisis y la gasificación que permiten la obtención de una amplia gama de productos químicos y ofrecen la posibilidad de otras aplicaciones. El uso de la biomasa para la producción de biocombustibles tiene ventajas relacionadas con el impacto positivo en las economías locales, al completarse el ciclo de producción, comercialización y uso en la localidad. Se incluye además la versatilidad de poder satisfacer demandas de calor y frío además de la muy empleada producción de electricidad. Fuera de zafra, la generación de electricidad, está condicionada por dos factores principales: la tecnología de generación de electricidad y la disponibilidad de biomasa. Para generar fuera del período de zafra es necesario cerrar el ciclo de vapor empleando equipos de proceso con superficies de transferencia de calor, como los tachos o los evaporadores, para la condensación del vapor, teniendo en cuenta que la tecnología utilizada para la generación de electricidad en la industria azucarera cubana se basa en turbinas de contrapresión y en calderas con una presión de trabajo como promedio de 19 bar (16).

### Disponibilidad de la biomasa y estimación del potencial bruto

La estimación del potencial bruto en el central se realizó a partir de la biomasa disponible con que cuenta el mismo y el valor del calor específico del bagazo. El calor específico de combustión de una sustancia es la cantidad de calor que se desprende durante la combustión completa de su unidad de masa. Al ser el bagazo un combustible sólido se va a expresar en kJ/kg (18). En este trabajo se toma el valor del calor específico del bagazo (50 % de humedad) de 7,64 MJ/kg. El potencial bruto se calcula de acuerdo a la ecuación (2) y el potencial bruto máximo se determina teniendo en cuenta la capacidad nominal de molienda y el porcentaje que históricamente ha representado el bagazo, se obtu-

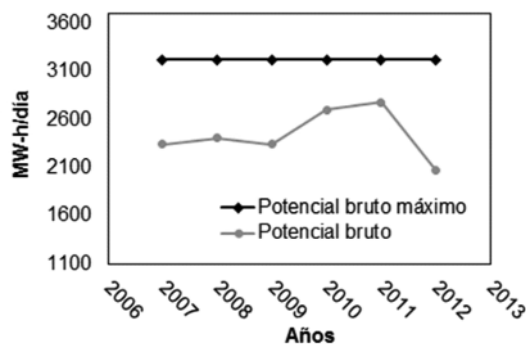
**Tabla 5.** Biomasa disponible en la UEB Héctor Rodríguez

Año	Biomasa disponible (t de bagazo/día)	Potencial bruto (MW-h/día)
2007	1 104	2344
2007	1 104	2409
2007	1 104	2346
2007	1 104	2699
2007	1 104	2778
2007	1 104	2069

vo un valor de 3 222 MW-h/día. En la tabla 5 se muestran los valores calculados de la biomasa disponible a partir de la cantidad de bagazo generado por día, según los datos con que se cuenta en cada zafra (t de bagazo/día).

Los resultados de la determinación del potencial bruto en la UEB Héctor Rodríguez en los años de estudio, según la biomasa disponible en el central, se exponen en la figura 4. El potencial bruto varía de acuerdo al bagazo generado por zafra, por lo cual mientras mayor porcentaje de bagazo se pueda obtener por tonelada de caña molida, mayor va a ser el potencial, también puede jugar un papel fundamental la humedad del bagazo ya que esta puede afectar de una forma positiva o negativa el valor del calor específico de combustión, ya que mientras menor porcentaje de humedad tenga el residuo mayor va a ser el poder calorífico en la combustión. En la figura 4 se muestra además la relación que existe entre el potencial bruto y el potencial bruto máximo, en los años de estudio para la UEB Héctor Rodríguez.

Como se puede observar en la figura anterior existe irregularidad en los valores del potencial bruto debido a las diferencias en la molienda de caña durante el período evaluado, producto las condiciones existentes en el país, la depresión en la



**Figura 4.** Comparación del potencial bruto máximo.

producción agrícola cañera y las deficiencias que aún existen para lograr una producción de azúcar estable y eficiente. En ese valor influyen también otros factores como pueden ser la rotura de equipos durante la cosecha o la molienda, lo que afecta posteriormente los procesos industriales y de generación de energía; otro elemento determinante es el plan de azúcar asignado, lo que propicia que la cantidad de caña que requiera moler el central puede variar de acuerdo a esta cifra comprometida. Si se alcanzan las condiciones productivas idóneas y se obtienen altos rendimientos en la cosecha y producción se puede aproximar en un futuro no lejano a los valores máximos de potencial bruto que estarían por el orden de 3 222 MW-h/día, para mantener el potencial de forma tal que cubra la demanda energética de la localidad y quede un excedente energético aún mayor para aportar al SEN o el empleo de otras formas de transformación de la biomasa incluso más eficientes que la actual.

## CONCLUSIONES

El valor calculado de RRP promedio para esta forma de biomasa es 0,22 para el caso de estudio UEB Héctor Rodríguez.

El valor coincide con los resultados publicados previamente (0,25 y 0,3 respectivamente),

Esta cifra dista de ser representativa para este central azucarero, dado que al determinar la biomasa potencial, en algunas zafras se encuentra por debajo del bagazo producido en la molienda.

Las irregularidades en los valores del potencial bruto pueden estar dadas por las diferencias en la molienda de caña, teniendo en cuenta las condiciones existentes en el país, la depresión en la producción agrícola cañera y las deficiencias que aún existen para lograr una producción de azúcar estable y eficiente. Puede influir además la rotura de equipos durante la cosecha o la molienda, lo que afecta posteriormente los procesos industriales y de generación de energía; otro elemento determinante es el plan de azúcar asignado, lo que propicia que la cantidad de caña que requiera moler el central pueda variar de acuerdo a esta cifra comprometida.

El conocimiento de la existencia de un potencial de biomasa, que si se colecta pudiera ser empleado en la generación de electricidad, es de gran importancia para la matriz energética cubana. Adicionalmente se puede analizar la posibilidad de emplear otros métodos de conversión como la pirólisis y la gasificación que permiten la obtención de una amplia gama de productos químicos y ofrece la posibilidad de otras aplicaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fernández, N. Plantas de Biomasa [Online]. Available: [www.limpiezastecnicasindustriales.com](http://www.limpiezastecnicasindustriales.com) 2010. [Accessed 10-02- 2012].
2. Pérez-Bermúdez, R.A. Estudio termo-económico del beneficio del gas de gasificación de biomasa en lecho fluidizado con fines energéticos. Tesis para optar por el título de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. 2005.
3. Demirbas, A. Combustion Systems for Biomass Fuel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 29 (303-312). 2007.
4. Demirbas, A. Modernization of Biomass Energy Conversion Facilities. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*. 2 (227 - 235). 2007. Balat, M. Mechanisms of Thermochemical Biomass Conversion Processes. Part 2: Reactions of Gasification". *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. Vol. 30, 2008. pp. 636 - 648.
5. ONE. "Anuario Estadístico de Cuba 2010". Oficina Nacional de Estadísticas, República de Cuba. 2011.
6. Babu, B.V., Chaurasia, A.S. Modeling, simulation and estimation of optimum parameters in pyrolysis of biomass. *Energy Conversion and Management*. 44 (2135-2158) 2003.
7. Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución. VI Congreso del Partido Comunista de Cuba. 18 de abril de 2011.
8. Pyrolysis Final Report Part 2 - Determination of norms and standards for biomass fast pyrolysis liquids as an alternative renewable fuel for electricity and heat production" [Online]. Available: [www.care.demon.co.uk/ALTENERIIReportFinal](http://www.care.demon.co.uk/ALTENERIIReportFinal) [Accessed 12-10- 2012]. Berndes, G., Hoogwijk, M., van Den Broek, R. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*, 25. 2003.
9. Yaman, S. Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. *Energy Conversion and Management*. 45 (651-671) 2004. Sebastián-Nogués, F., García-Galindo, D., Rezeau, A. *Energía de la Biomasa*. Pressas Universitarias de Zaragoza: Zaragoza. 2010.
10. Cooper, C.G., Laing, C.A. A macro analysis of crop residue and animal wastes as a potential energy source in Africa. *Journal of Energy in Southern Africa*. 18 (10-19). 2007.
11. Fundación CIRCE. "Evaluación del potencial de biomasa residual en los ecosistemas forestales



- y los medios agrícolas en la provincia de Huesca". Available: [http:// circe. cps. unizar. es/ acvcoco/es/pdf/ 6doc\\_3.pdf](http://circe.cps.unizar.es/acvcoco/es/pdf/6doc_3.pdf) , 2006. [Accessed 12-10- 2012].
12. Curbelo, A.; Jiménez, O.; Suárez, Y. Contribución potencial de la biomasa como combustible a la generación distribuida en Cuba. *Conocimiento. Energía para el Desarrollo*. 2 (7) 2011.
  13. Hensley-Duku, M.; Gu, S.; Ben-Hagan, E. A comprehensive review of biomass resources and biofuels potential in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (404-415). 2011.
  14. Akgün, O.; Luukkanen, J.; Majanne, Y. Theoretical bioenergy residue potential in Cambodia and Laos and utilization possibilities. 16th Meeting of the REFORM Group. Schloss Leopoldskron, Salzburg, Austria. 2011.
  15. Pontt, C. Potencial de biomasa en Chile. En: *Estudio de contribución de las ERNC al SIC 2025 Informe Sectorial Final*, Univ Tecnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, pp 74. 2008
  16. Ojotin, V.Z.; Laviguin, V.; Salomzoda, F. *Fundamentos de Termotecnia*. Ed. Mir. Moscú. 1988.
  17. Nogués, S.; García-Galindo, F.D.; Rezeau, A. *Energía de la Biomasa*. Prensas Universitarias de Zaragoza: Zaragoza. 2010.
  18. Pérez-Bermúdez, R.A.; Betancourt-Mena, J.; Reyes-Montiel, J.L. Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental. *Ecosolar* [Online]. Vol. Julio-Septiembre. 2003. Available: <http://www.cuba-solar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar05/HTML/articulo01.htm>. [Accessed 12-10- 2012].

FitoMas es un cóctel natural de sustancias orgánicas intermediarias complejas de alta energía, especialmente seleccionadas del conjunto mejor representado en la mayor parte de las especies botánicas a las que pertenecen los cultivos económicos, por lo que permite superar las situaciones estresantes sin perjudicar la producción de alimentos y productos útiles. FitoMas no es tóxico ni a las plantas ni a los animales.

Con su acción, FitoMas facilita la interacción suelo-planta, por lo que propicia el desarrollo de la rizosfera, la cual elabora hormonas de crecimiento y otras muchas sustancias útiles al vegetal

**FITOMAS (H)**

Potenciador de la acción herbicida cuando se mezcla con estos lo cual permite una sensible reducción de sus dosis. Incrementa el área radicular y mejora la floración cuando se aplica a dosis entre 0.2 y 1 l/ha, al inicio de la floración en frutales y después del ahijado en cereales.

**FITOMAS (E)**

Es un sustituto parcial de la fertilización convencional porque propicia el desarrollo de la rizosfera (microorganismos simbióticos que viven en las raíces), los que fijan nitrógeno atmosférico y movilizan otros nutrientes minerales.

**FITOMAS (M)**

Madurador de la caña por excelencia, facilita el engorde y cuajado de los frutos cuando se aplica un mes antes de la cosecha a tubérculos o raíces, en frutales y cereales.




Producto Natural  
Antiestrés



