

EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE DIFERENTES BIOMASAS EN LA PROVINCIA DE CIENFUEGOS

PRELIMINARY EVALUATION OF THE ENERGY POTENTIAL OF DIFFERENT BIOMASSES IN THE CIENFUEGOS PROVINCE

Reinier Jiménez Borges^{1}, Eduardo J. López Bastida¹, Félix González Pérez¹
y Javier Alejandro Curbelo García²*

¹ Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA). Universidad de Cienfuegos. Carretera a Rodas km 3 ½, Cuatro Caminos, Cienfuegos, Cuba.

² Empresa de Mantenimiento a Centrales Eléctricas. Carretera a O'Bourke, Cienfuegos, Cuba.

Recibido: Julio 3, 2017; Revisado: Octubre 11, 2017; Aceptado: Diciembre 21, 2017

RESUMEN

En el trabajo se presenta la metodología utilizada para calcular las potencialidades presentes y futuras del total de residuos por fuente de biomasa desde el punto de vista económico, social, medio ambiental y tecnológico en consecuencia con los principios del desarrollo sostenible. A partir del levantamiento de la biomasa cañera, cafetalera, arrocería, residuos aserraderos, mediante informaciones aportadas por las principales empresas productoras de la provincia de Cienfuegos, fue posible determinar la energía total entregada, así como la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) dejados de emitir a la atmósfera. Para el caso del bagazo de caña la energía total fue de 4,409E+08 MJ, dejándose de emitir a la atmósfera 137 652,9 t de CO₂, para la cachaza a su vez fue de 7,093E+08 MJ, dejándose de emitir 221 423,9 t de CO₂. En los residuos del café y arroz estos valores fueron de 4,808E+05 MJ (184 t de CO₂) y 6,34E+07MJ (19 868,87 t de CO₂) respectivamente. Por último, la energía total para los residuos de aserraderos fue de 4,108E+07 MJ para un total de 2 346,72 t de CO₂.

Palabras clave: bagazo; cachaza; arroz; energía; potencialidades.

ABSTRACT

This paper presents the used methodology to calculate the present and future potentials of total biomass wastes, from the economic, social, environmental and technological point of view in accordance with the principles of sustainable development. From the values of sugarcane, coffee, rice, and sawmill wastes, through information provided by the main producing companies in Cienfuegos province, it was possible to determine the total energy delivered, as well as the amount of CO₂ emitted into the atmosphere. In the case of the bagasse, the total energy was 4.409E+08 MJ, leaving 137 652.9 t CO₂ to emit in the atmosphere. For the filter cake it was 7.093E+08 MJ and 221 423.9 tCO₂. In the case of coffee and rice residues these values were 4.808E+05 MJ with 184 tCO₂ for coffee and 6.34E+07MJ with 19 868.87 tCO₂ for rice, respectively. Finally, the total energy for sawmill waste was 4.108E+07 MJ and 2 346.72 tCO₂.

Key words: bagasse; filter cake; rice; energy; potentialities.

1. INTRODUCCIÓN

La bioenergía es actualmente la mayor fuente de energía renovable en la Unión Europea, presentando un crecimiento de un 11% por año durante el período 2005-2012 (Giuntoliy col., 2016), cubriéndose el consumo de energía total primaria en un 8 % (Brosowskiy col., 2016). En el 2013 el uso en Suecia de la biomasa alcanzó los 483 Peta Joule (PJ), casi la mitad de ese consumo total fue utilizado en el sector de la energía para la generación de electricidad y calor (Ericsson y Werner, 2016). Durante el 2015, se añadió un estimado de 147 GW de capacidad de energía renovable, el mayor incremento anual jamás registrado; aumentando la capacidad calorífica en alrededor de 38 GWt, así como la producción total de biocombustibles Sawin (2016). La utilización de estas fuentes en la generación de electricidad está muy vinculada al desarrollo de tecnologías eficientes que permitan que esta producción sea competitiva con el uso de los combustibles convencionales en las condiciones específicas de los países en desarrollo Bildirici (2013). Estudios como el aportado por (Lewandowski y col., 2006) realizan un levantamiento del potencial de biomasa a nivel regional, estimándose el potencial de energía para seis escenarios en estudio.

En Cuba la principal fuente de energía renovable es la biomasa, ya que no existen grandes ríos, ni zonas con altas velocidades del viento. Si bien el mayor potencial energético lo tiene la biomasa cañera, existen otras fuentes que tienen importancia en el orden local o que su aprovechamiento resulta conveniente desde el punto de vista medio ambiental. Cuba como país insular, constituye la primera prioridad en los lineamientos actuales de la política económica y social del país, de ahí que la energía sea un eje transversal en este propósito. Según Guerra (2016) actualmente es baja la utilización de las fuentes renovables de energía, pues con ellas solo se produce el 4,3% de la electricidad del país donde la biomasa alcanza el 3,5%. La provincia de Cienfuegos está localizada en la zona central de Cuba y ocupa 4 178 km² (417 800 ha). Esta presenta una economía variada basada fundamentalmente en la agricultura, industria y el turismo (Sagastume y col., 2016). En Cuba, la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI) ofrece estadística generalizada de la situación de las biomásas a nivel

provincial, aunque no de forma específica, por consiguiente tampoco se conoce el potencial energético que puede aportar cada una de ellas. En tal sentido para esta investigación se identificaron los siguientes objetivos:

1. Determinar las cantidades de biomasa disponibles en el territorio mediante un acercamiento a cada unidad generadora y el potencial energético de cada una de ellas dentro del escenario actual.
2. Estimar las cantidades de CO₂ dejados de emitir a la atmósfera por concepto del aprovechamiento de las diferentes biomasa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las fuentes de biomasa estimadas en la provincia de Cienfuegos para el estudio fueron:

- Residuos Agrícolas: cáscara de arroz, paja de caña, cascarilla de café.
- Bio-productos de la industria azucarera: bagazo, cachaza.
- Residuos Forestales: residuos de aserraderos.

El potencial de estas fuentes fue valorado por cuatro categorías: económico, social, medio ambiente y tecnológico. En la Figura 1 se proponen cuatro categorías o esferas a abarcar, para que el análisis sea consecuente con los principios del desarrollo sostenible.



Figura 1. Categorías o esferas a abarcar para la evaluación energética.

Fuente: Elaboración propia

Para abordar un problema de este tipo es necesario primeramente conformar una matriz de alternativas recurso-uso final, para esto hay que analizar los requerimientos energéticos de la provincia y las posibles fuentes energéticas a utilizar, de tal forma que se calcule la eficiencia de utilización de cada fuente.

Los índices de consumo de energía generalmente se expresan en términos de energía útil, especialmente en los casos de selección en que se trabaja, que no tienen la misma eficiencia.

Para la determinación de la energía total por cada fuente de biomasa se utiliza la ecuación (1).

$$E_{Total} = B_{prod} * PCS_{b.s} \quad (1)$$

Donde: E_{Total}: Energía Total (MJ), B_{prod}: Cantidad de biomasa producida (kg), PCS_{b.s}: Poder Calórico Superior en base seca (MJ/kg).

La energía útil por otra parte puede ser determinada mediante la ecuación (2).

$$E_{\text{Útil}} = B_{\text{comb}} * PCS_{b.s} \quad (2)$$

Donde: $E_{\text{Útil}}$: Energía Útil (MJ), B_{prod} : Biomasa utilizada como combustible (kg).

Por tanto, la eficiencia(η) con que se utiliza la energía puede ser determinada mediante la ecuación (3).

$$\eta = \frac{E_{\text{Útil}}}{E_{\text{Total}}} \quad (3)$$

Con el aprovechamiento de las fuentes de biomasa desde el punto de vista energético se logra una reducción en el empleo de combustibles fósiles para determinado proceso, esto permite la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera y por consiguiente la mitigación del cambio climático. La determinación de la cantidad de CO₂ dejado de emitir a la atmósfera puede ser determinado mediante la ecuación (4) (Salazar y col., 2010):

$$E = E_a * FE \quad (4)$$

Donde: E: Emisiones (tCO₂/año); FE: Factor de emisión (0,001127 tCO₂/kWh); E_a: Energía ahorrada (kWh/año).

Para la estimación de la cantidad de biomasa se debe analizar el comportamiento de cada unidad productora. De acuerdo con la ONEI (2016a), la producción de caña de la provincia de Cienfuegos en la última zafra fue de 1 630 540,78 t, donde existen 65 269,43 ha de tierras destinadas a la siembra de caña de azúcar. Sin embargo, de ellas solo 45 303,44 ha son cultivadas. La cantidad de bagazo producido fue de 1 571 600 t en las últimas tres zafras, de ellas 613 897 t en el último año. Por otra parte, según informe de la ONEI (2016b) en las últimas tres cosechas de café se produjeron 334,62 t de dicho producto, que generaron más de 94,38 t de cascarilla.

En Cienfuegos existen 7 440,28 ha destinadas a la siembra del arroz donde se logró una producción en el año 2016 de 10 515,70 t aproximadamente según la ONEI (2016c), destacándose la zona de Aguada de Pasajeros como la de mayor producción. Además, la cantidad de madera aserrada en el territorio en los últimos tres años fue de 8 073,500 m³ de acuerdo con un informe de la ONEI (2016d).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estimación de la biomasa potencial desde el punto de vista estratégico, puede ser una herramienta eficaz con el fin de conocer la cantidad de residuos y poder realizar una planificación más acertada.

La Tabla 1 presenta las cantidades de biomasa disponibles para el último año en la provincia de Cienfuegos.

Tabla 1. Fuentes de biomásas en la provincia de Cienfuegos en el 2016

<i>Fuente de Biomasa</i>	<i>Cantidad (t/año)</i>
Bagazo	25 488
Cachaza	48 916,22
Paja de caña	87 345,75
Cascarilla de Café	25,71
Cáscara de arroz	3 846,52
Residuos aserraderos	2 220,52

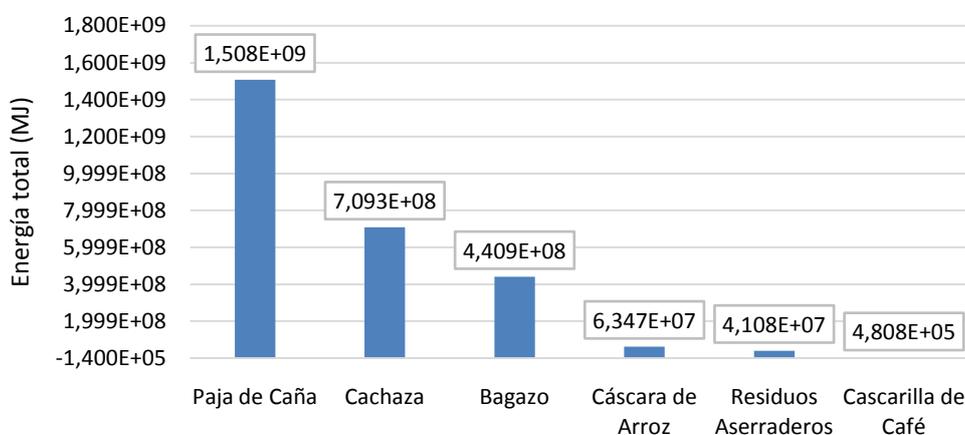
La composición química y los valores calóricos para estas biomásas en Cuba (base seca) se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química y los valores calóricos de estas biomásas en Cuba (base seca).

Fuente: (Sagastume et al., 2016)

<i>Biomasa</i>	<i>HR(%)</i>	<i>C(%)</i>	<i>H(%)</i>	<i>O(%)</i>	<i>Cenizas (%)</i>	<i>PCI_{b,s} (MJ/kg)</i>	<i>PCS_{b,s} (MJ/kg)</i>
Bagazo	50	47,2	7,0	43,1	2,7	15,8	17,3
Cachaza	70–80	32,5	2,2	2,2	14,5	8,8	14,5
Paja de caña	45	43,5	6,1	41,1	9,3	15,7	17,2
Cascarilla de Café	7,6	50,3	5,3	43,8	0,5	17,5	18,7
Cáscara de arroz	8–10	38,2	5,6	33,7	22,5	15,2	16,5
Residuos aserraderos	15	51,4	5,7	38,7	3,8	19,2	18,5

A partir de la cantidad de biomasa presentada en la tabla 1, composición química y los valores calóricos para estas biomásas en Cuba mostrados en la tabla 2, puede ser determinada la energía total de cada fuente por la ecuación (1), así como la energía útil por la ecuación (2). De las fuentes de biomásas presentadas en la tabla 1 solo el bagazo de caña es utilizado como combustible en los generadores de vapor de los centrales azucareros, para este caso la $E_{\text{útil}}$ fue de $8,69 \times 10^9$ MJ con una η de utilización de un 95 %. La figura 2 presenta los resultados de la cantidad de energía entregada para cada fuente de biomasa.

**Figura 2.** Energía en MJ por cada fuente de biomasa

De manera general la paja de caña presenta la mayor cantidad de energía total entregada 1,508 E+09 MJ, un 47 % superior a la cachaza todo esto en correspondencia con el total aportado por cada uno de ellos. Es importante destacar que la industria azucarera representa la principal fuente generadora en el territorio con aproximadamente 2,69E+09 MJ en total.

Si bien se necesita una evaluación ambiental más profunda para establecer los beneficios ambientales de los diferentes escenarios, en comparación con la energía basada en combustibles fósiles generada actualmente en Cienfuegos, sólo se considerará el impacto en las emisiones de la Generación de Electricidad en Cuba (GEC). Dado que las emisiones de biomasa CO₂ son consideradas neutras (las emisiones de combustión de biomasa equivalen a la masa de CO₂ absorbida durante su cultivo), la generación de electricidad a base de biomasa reduce las emisiones netas nacionales de GEC (Sagastume y col., 2016).

La cantidad de CO₂ dejados de emitir a la atmósfera determinada por la ecuación (4) se presenta en la figura 3.

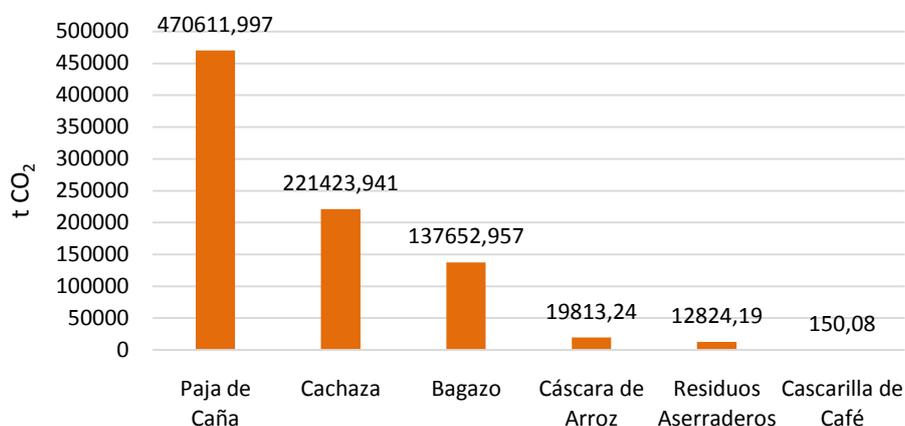


Figura 3. Cantidad de CO₂ dejado de emitir por fuente de biomasa

El análisis de la Figura 3 muestra que la máxima cantidad de CO₂ dejados de emitir corresponde a la paja de caña con 470 611 tCO₂, mientras la fuente de menor contaminación resultó ser la cascarilla de café con solo 150,08 tCO₂.

La Tabla 3 presenta un resumen de los aspectos sociales y tecnológicos para las fuentes de biomasa en el territorio.

Tabla 3. Resumen del escenario social para las fuentes de biomasa

<i>Fuente de Biomasa</i>	<i>Aspecto Social</i>
Bagazo	Usado como combustibles en los generadores de vapor de los centrales azucareros, además el bagacillo puede utilizarse como alimento animal.
Cachaza	Utilizado como fertilizante. Se utiliza en la alimentación de ganado vacuno previo secado al sol, con buenos resultados, aun cuando tiene un bajo valor alimenticio.
Paja de caña	Para fines de alimentación animal. En varios países se utiliza como combustible.

Cascarilla de café	Utilizado en Cienfuegos como combustible con el fin de generar calor que puede ser usado en el proceso de secado del grano de café.
Cáscara de arroz	La cáscara de arroz actualmente es considerada como un producto de desecho del proceso de pilado, aún no valorada comercialmente.
Residuos de aserraderos	En muchos países han sido frecuentes los estudios sobre aprovechamiento de los referidos residuos forestales, directamente o sometidos a diversos tratamientos, así como sobre los subproductos de las industrias madereras y del papel.

El interés y urgencia en las tecnologías aplicables al aprovechamiento energético de las fuentes de energías renovables se fundamenta no solo en los beneficios ambientales, sino también en el fomento económico sustentable que estas fuentes ofrecen. En la provincia de Cienfuegos no todas las fuentes de biomasa disponibles se utilizan con fines energéticos, algunas de estas simplemente no se utilizan. La figura 4 presenta las tecnologías existentes en Cienfuegos para el caso del bagazo y la cascarilla de café, así como otras para el aprovechamiento energético de estas fuentes.

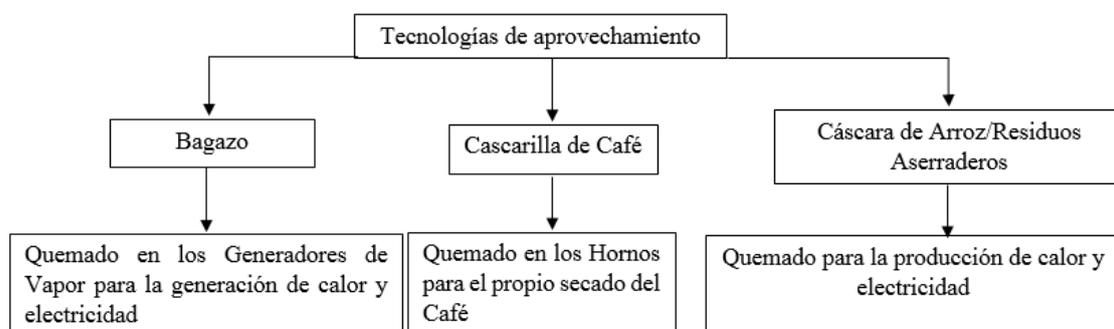


Figura 4. Tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa

4. CONCLUSIONES

1. Se determinaron las cantidades por fuentes de biomasa disponibles en Cienfuegos y su potencial energético correspondiente, resultando ser: el bagazo en el último año el total fue de 25 488 t con un potencial energético equivalente a $4,409E+08$ MJ. La producción de cachaza fue de 48 916,22 t para un potencial energético de $7,093E+08$ MJ.
2. En los centros de limpieza de la provincia se procesaron un total de 87 345,75 t de paja de caña, lo que representa entregar $1,508E+09$ MJ de energía. El total de cascarilla de café disponible, así como los residuos de aserraderos fue estimado en 25,71 t y 2 220,52 t respectivamente, cuyos potenciales son de $4,808E+05$ MJ y $4,108E+07$ MJ.
3. Fueron estimadas las cantidades de CO₂ dejados de emitir a la atmósfera: para el caso del bagazo las reducciones fueron de 137 652,9 t CO₂, cachaza 221 423,9 tCO₂, paja de caña 470 611 t CO₂. Por la cascarilla de café y los residuos de aserraderos se dejaron de emitir 150,08 t CO₂ y 12 824,19 tCO₂ respectivamente. Finalmente, por la cascarilla de arroz se dejaron de emitir 19 813,24 tCO₂.

REFERENCIAS

- Bildirici, M.E., Economic growth and biomass energy., *Biomass and Bioenergy*, Vol. 50, 2013, pp.19-24.
- Brosowski, A., Thrän, D., Mantau, U., Mahro, B., Erdmann, G., Adler, P., Stinner, W., Reinhold, G., Hering, T., & Blanke, C., A review of biomass potential and current utilisation - Status quo for 93 biogenic wastes and residues in Germany., *Biomass and Bioenergy*, Vol. 95, 2016, pp. 257-272.
- Ericsson, K., and Werner, S., The introduction and expansion of biomass use in Swedish district heating systems., *Biomass and Bioenergy*, Vol. 94, 2016, pp. 57-65.
- Giuntoli, J., Agostini, A., Caserini, S., Lugato, E. Baxter, D., & Marelli, L., Climate change impacts of power generation from residual biomass., *Biomass and Bioenergy*, Vol. 89, 2016, pp.146-158.
- Guerra, R., Cartera de oportunidades de inversión extranjera 2016 – 2017, 2016, pp. 7-14.
- Lewandowski, I., van Hooijdonk, A., Havlickova, K., van Dam, J., & Faaij, A., The potential biomass for energy production in the Czech Republic., *Biomass and Bioenergy*, Vol. 30, No. 5, 2006, pp. 405-421.
- ONEI, Oficina Municipal de Estadística., Estadística de AZCUBA. Análisis multivariado de los residuos de la caña de azúcar., 2016a, pp. 3-7.
- ONEI, Oficina Municipal de Estadística., Empresa Procesadora de Café “Eladio Machín., Producciones de café y sus residuales anuales., 2016b, pp. 2-8.
- ONEI, Oficina Municipal de Estadística., Empresa de Granos Aguada., Producciones de granos de Cienfuegos., 2016c, pp. 18-21.
- ONEI, Oficina Municipal de Estadística. Empresa Forestal Integral Cienfuegos., Madera aserrada y residuos generados en los tres últimos años., 2016d, pp. 14-17.
- Sagastume, A., Cabello, J.J., Hens, L., & Vandecasteele, C., The Biomass Based Electricity Generation Potential of the Province of Cienfuegos, Cuba., *Waste Biomass Valor*, Vol. 8, No. 6, 2017, pp. 2075-2085.
- Salazar, I., Mockey, I.O., y Canal, M., Estimado de la reducción de la emisión de CO₂ por acciones de ahorro de electricidad en las condiciones de Cuba, *Ingeniería Energética*, Vol. 31, No. 3, 2010, pp. 1-5.
- Sawin, J., Energías renovables 2016., Reporte de la situación mundial., París, Francia, 2016, pp. 3-15.