

Artículo Original

***EVALUACIÓN DE LA BIOMASA CAÑERA POTENCIAL EN LA
EMPRESA AZUCARERA HÉCTOR RODRÍGUEZ MEDIANTE LA
RELACIÓN RESIDUO-PRODUCTO***

***EVALUATION OF THE POTENTIAL OF SUGARCANE BIOMASS IN THE
HÉCTOR RODRÍGUEZ SUGAR FACTORY USING THE
RESIDUE-TO-PRODUCT RATIO***

Diubel Humberto Bretón Glean¹ <https://orcid.org/0000-0001-9591-9834>

José Carlos Tornés Peraza² <https://orcid.org/0009-0002-5500-8002>

Lizet Rodríguez Machín^{2*} <https://orcid.org/0000-0001-8251-4440>

¹ Fábrica de Calderas "Jesús Menéndez". Sagua la Grande, Cuba.

² Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales (CEETA). Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Marzo 27, 2023; Revisado: Mayo 6, 2023; Aceptado: Mayo 16, 2023

RESUMEN

Introducción:

Las evaluaciones de recursos energéticos deben servir para conocer el tamaño o capacidad de producción de energía en una zona, o para la toma de decisión en la ubicación de una planta. La valoración del potencial de biomasa cañera que podría obtenerse, de manera sostenible, varía significativamente y cubre un rango grande porque todas las estimaciones se basan en diferentes criterios y suposiciones.

Objetivo:

Evaluar el comportamiento de la biomasa cañera potencial, aplicando el método de la Relación Residuo-Producto en la Empresa Azucarera (EA) Héctor Rodríguez, para su utilización como combustible en la generación de energía.

Materiales y Métodos:

Se emplea el método de cálculo de la Relación Residuo-Producto (RRP), utilizando la información estadística de producción de caña y bagazo obtenida de la industria.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Lizet Rodríguez, Email: lizetr@uclv.edu.cu



Resultados y Discusión:

Los resultados permitieron obtener los valores de la RRP promedio de 0,3 y la biomasa potencial promedio de 108 974 t_{bagazo} que facilitan la evaluación de la biomasa cañera en la EA Héctor Rodríguez.

Conclusiones:

La cercanía de la RRP promedio calculada a valores reportados en la literatura avala el resultado obtenido. La biomasa potencial promedio determinada permite planificar la utilización del recurso energético bagazo en la EA Héctor Rodríguez. Los cambios tecnológicos realizados a partir del 2016 sugieren la necesidad de una nueva evaluación para determinar la biomasa cañera potencial en la mencionada EA.

Palabras clave: bagazo; biomasa cañera; biomasa potencial; evaluación.

ABSTRACT

Introduction:

Energy resource assessments should be used to determine the size or energy production capacity of an area, or to make a decision on the location of a plant. The evaluation of the sugarcane biomass potential that could be obtained, in a sustainable way, varies significantly and covers a large range since all the estimates are based on different criteria and assumptions.

Objective:

To assess the behavior of potential sugarcane biomass, by the residue to product ratio method, in the period between 2007 and 2021 at the Héctor Rodríguez sugar mill for its use in power generation.

Materials and Methods:

The residue-to-product ratio calculation method is used, by means of the statistical information of cane and bagasse production obtained from the industry.

Results and Discussion:

The results allowed obtaining the values of the average RRP 0.3 and the average of the potential biomass 108 974 t_{bagasse} that enable the evaluation of the sugarcane biomass in the Héctor Rodríguez sugar company.

Conclusions:

The closeness of the average RRP calculated to values reported in the literature supports the result obtained. The determined average potential biomass allows planning the use of the bagasse energy resource in the Héctor Rodríguez sugar company. The technological changes made as of 2016 suggest the need for a new evaluation to determine the potential sugarcane biomass in the aforementioned sugar company.

Keywords: bagasse; sugarcane biomass; biomass potential; assessment.

1. INTRODUCCIÓN

El bagazo y la paja de caña son fuentes renovables de energía muy importantes para la generación de electricidad en la industria azucarera (Hernández y col., 2017) y (Rubio y Rubio, 2018), en los cañaverales se almacena el equivalente a una tonelada de petróleo por cada tonelada de azúcar que pueda producirse (Menes y col., 2013) siendo esto un

factor favorable para Cuba, para el desarrollo energético sostenible a escala local.

La producción de energía eléctrica en Cuba ha tenido como soporte principal la utilización de centrales termoeléctricas para generar gran parte de la electricidad producida en el país. Una de las alternativas viables para cambiar esta dependencia de los combustibles importados es logrando el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, donde va a tener un papel fundamental la explotación de tecnologías más baratas y menos dañinas para el medioambiente. A partir de este análisis, la utilización de la biomasa como fuente de energía representa una alternativa potencial y real para la disminución del consumo de portadores energéticos convencionales en la generación de electricidad, Bretón, (2012).

En Cuba se cuenta con un gran potencial para poder desarrollar el uso de la biomasa, el gran problema está en que no se aprovecha la capacidad existente debido a diversos factores como pueden ser, las dificultades que existen en la agricultura (siembra de plantación y las plagas) y la explotación máxima y eficiente de las tierras cultivadas. Se estima que la mayor cantidad de biomasa se encuentra tanto en los campos cultivados como en los que no se han explotado todavía, la otra parte se encuentra en las áreas protegidas, donde por cuestiones medioambientales y de patrimonio no es posible su utilización, Bretón, (2012).

En la Empresa Azucarera (EA) Héctor Rodríguez, caso de estudio en este artículo, se pretende construir una bioeléctrica de 20 MW a partir de biomasa cañera y en caso necesario emplear la biomasa forestal. Por lo que se requiere garantizar múltiples factores internos y externos, como la disponibilidad de materia prima y eficiencia tecnológica del central para su instalación. Siendo de gran importancia hacer el estudio y evaluación del comportamiento y uso de la biomasa cañera, con el fin de lograr la productividad más óptima para la explotación de dicha fábrica. Este ingenio está concebido tecnológicamente para obtener azúcar crudo y tiene anexa una planta de miel urea bagacillo, Rosales (2020).

Dentro del conjunto de elementos de partida para un adecuado proyecto de generación y comercialización de electricidad tomando como combustible la biomasa cañera, resulta imprescindible monitorizar y cuantificar para poder desarrollar una correcta evaluación. Los principales elementos a tener en cuenta son: acuerdo de compra-venta de electricidad, capacidad de molienda del ingenio y producción cañera (Rubio y Rubio, 2018). Tomando este último punto como base para la evaluación del potencial de biomasa cañera en la EA Héctor Rodríguez.

Las evaluaciones de recursos son una parte fundamental en el estudio de viabilidad de una planta de biomasa, por lo que requiere conocer bien las potencialidades de generación de biomasa según su naturaleza, sea ésta primaria o secundaria. Por tanto, deben servir 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 (Sebastián y col., 2010).

Los residuos de biomasa generalmente se evalúan mediante el uso de la Relación Residuo-Producto (RRP) (Gondwe y col., 2017), a menudo se utiliza para cultivos anuales (Koopmans y Koppejan, 1997). En la estimación de la cantidad de residuos de cultivos, la RRP debe usarse con cuidado ya que son números clave en cada evaluación (Alhassan y col., 2019). Recientemente, Zhang y col., (2019) determinaron el potencial máximo teórico de los residuos de varios cultivos sobre la base de la producción agrícola, multiplicada por parámetros específicos.

La evaluación del potencial de biomasa que podría obtenerse de manera sostenible varía significativamente y cubre un amplio rango porque todas las estimaciones se basan en diferentes criterios y suposiciones, Bretón, (2012).

El objetivo del presente trabajo es: evaluar el comportamiento de la biomasa cañera potencial, aplicando el método de la Relación Residuo-Producto en la Empresa Azucarera (EA) Héctor Rodríguez, para su utilización como combustible en la generación de energía.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La biomasa disponible se calcula a partir de la cantidad de bagazo generado por día según los datos con que se cuenta en cada zafra ($t_{\text{bagazo/día}}$). La evaluación incluye la estimación de la biomasa cañera potencial, Bretón, (2012). En este trabajo se emplea el método de evaluación por la RRP (Sebastián y col., 2010), que se calculan por el cociente del residuo producido (en este estudio, bagazo) y el cultivo producido (en este estudio, caña cosechada), ver ecuación 1, FAO (2014).

$$RRP = \frac{\text{Bagazo producido}}{\text{Caña cosechada}} \quad (1)$$

La biomasa potencial se calcula, según FAO (2014), como el producto del cultivo producido y la RRP, en este estudio se calcula empleando el promedio de ambos términos para evaluar un periodo de 15 años, ver ecuación 2.

$$BP = \frac{\sum_1^n P}{n} \cdot \frac{\sum_1^n RRP}{n} \quad (2)$$

Donde:

BP- biomasa potencial, t/año.

P- cultivo producido en el año, t (en este estudio caña cosechada, $t_{\text{caña}}$).

n- número de años empleados en el estudio.

En general, los valores de la RRP son sólo indicativos del potencial de residuos disponibles para su uso como fuente de energía e indica la cantidad de residuo disponible por cada tonelada de producto del cultivo (Hensley-Duku y col., 2011). Según las fuentes consultadas, estas relaciones varían según la especie, la variedad, la temporada de cosecha y el tipo de maquinaria utilizada (Akgün y col., 2011).

La estimación del potencial bruto en el central se realiza a partir de la biomasa disponible con que cuenta el mismo y el valor calorífico inferior (VCI) del bagazo en MJ/kg, se determina con la siguiente ecuación 3.

$$PB = BD \cdot VCI \cdot 1000 \quad (3)$$

Donde:

PB- potencial bruto, MJ/día.

BD- biomasa disponible, $t_{\text{bagazo/día}}$.

La BD se calcula a partir de la cantidad de bagazo generado por día según los datos de cada zafra.

El potencial bruto máximo se determinó con la ecuación 4, la biomasa disponible máxima se calculó con la capacidad nominal del central por el por ciento de bagazo que se obtendría.

$$PBM = BDM \cdot VCI \cdot 1000 \quad (4)$$

Donde:

PBM- potencial bruto máximo, MJ/día.

BDM- biomasa disponible máxima, t_{bagazo}/día.

La biomasa disponible se determinó como la cantidad de bagazo generado por día según los datos con que se cuenta en cada zafra. Las cifras de producción de caña, los residuos generados, el área total de caña sembrada, así como los rendimientos agrícolas se emplearon para estimar el potencial de biomasa cañera con que se cuenta. La EA Héctor Rodríguez cuenta con un área total destinada al cultivo de 12 711 ha, según el documento de control agrícola de zafra, dando una media de rendimiento para el periodo entre 2007 y 2021 de 33,7 t_{caña}/ha.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se puede observar el comportamiento inestable de la caña cosechada para el periodo estudiado en la EA Héctor Rodríguez. Los cambios climáticos se han evidenciado como consecuencia del calentamiento global que han conllevado a una manifiesta diferencia de la respuesta de las plantaciones a las patologías en los distintos suelos y cepas, así como en las diferentes etapas de zafra (Delgado y col., 2015). La cosecha es una de las etapas de mayor importancia en la producción de caña de azúcar, por lo que requiere un alto grado de organización y coordinación de todos los factores que en ella intervienen, desde el campo hasta el basculador (Rodríguez y Valencia, 2012) y (Esteban y col., 2019). Los principios básicos para una buena cosecha más importantes son: cosechar la caña en su máximo punto de madurez, cumplir los índices de eficiencia, gasto de combustible, pérdidas, limpieza productividad y reducir al mínimo los daños a la cepa (López-Bravo y col., 2022).



Figura 1. Caña cosechada en la EA Héctor Rodríguez entre 2007 y 2021

En la Figura 2 se presentan los valores de RRP calculados por zafra empleando la ecuación 1, se incluyen los valores promedio de la humedad para cada zafra, tomadas del libro para el control energético de zafra, perteneciente a la EA.

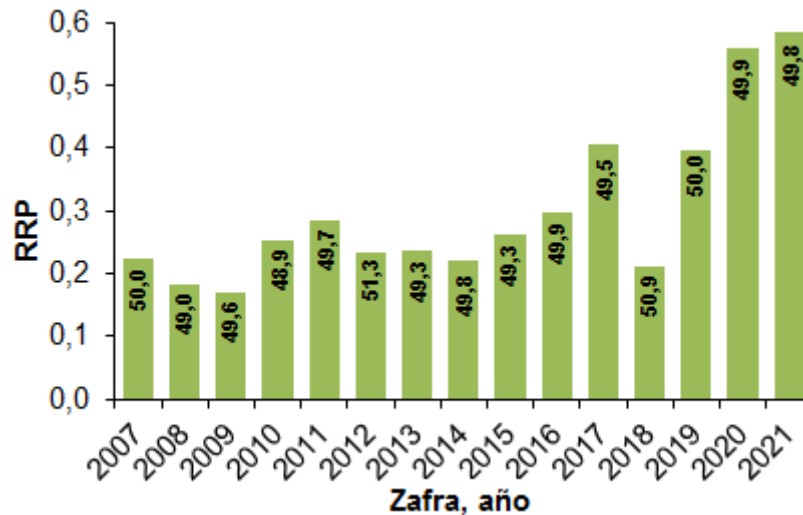


Figura 2. RRP calculadas en la EA Héctor Rodríguez para las zafras entre 2007 y 2021
El valor de la humedad (%) del bagazo se incluye en la barra

La RRP promedio calculada es de 0,3; valor muy cercano a los reportados para el bagazo; 0,33 (Alhassan y col., 2019); 0,25 (Sajjakulnukit y col., 2005), lo cual avala el resultado obtenido. El contenido promedio de humedad de esta biomasa, en el periodo estudiado, fue de 49,8 % prácticamente igual al 50 % considerado para Cuba.

En la Figura 3 se compara el valor de la biomasa cañera potencial calculada empleando la ecuación 2 con las cifras del bagazo producido en el periodo de estudio. Se puede observar que la producción de bagazo tiende a ir en aumento comparando los primeros años del periodo de estudio con los últimos, con excepción del año 2018, donde se molió una menor cantidad de caña.

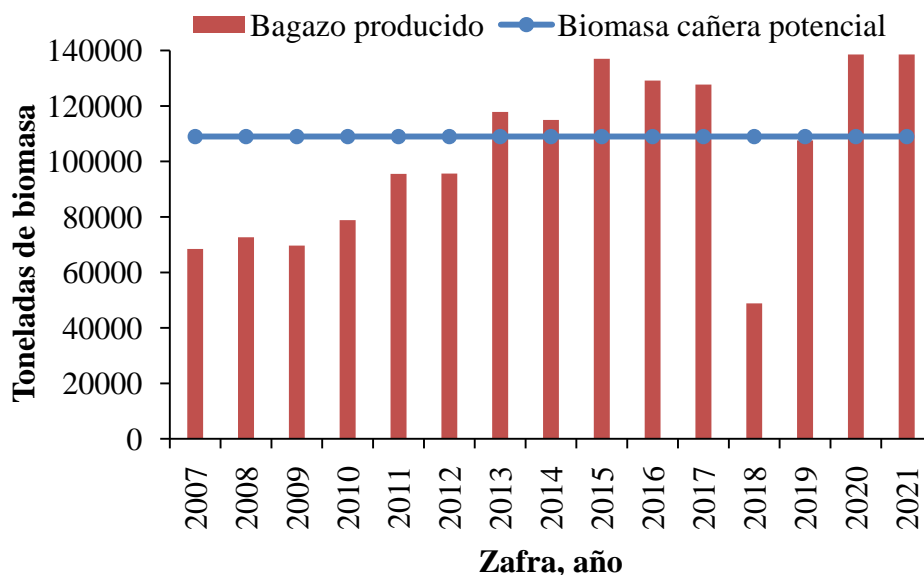


Figura 3. Comparación de la biomasa cañera potencial evaluada con la producción de bagazo para el periodo de 2007 a 2021

La biomasa cañera potencial en la EA Héctor Rodríguez en el período comprendido entre 2007 y 2021 tiene un promedio de 108 974 t_{bagazo} . Este residuo es utilizado como fuente renovable de energía (combustible) para la generación de electricidad que se consume en la EA y el sobrante de ésta se entrega al Sistema Electroenergético Nacional (SEN), generando ingresos monetarios por la venta de electricidad o por la

venta a otras empresas agroindustriales como residuo cañero.

La evaluación del potencial bruto de bagazo en la EA se realiza a partir de la biomasa disponible y el VCI del bagazo, empleando la ecuación 3. En este trabajo se utiliza el valor de 7,64 MJ/kg, tomado de Reyes y col., (2003) y Garcés y Martínez, (2007).

En la Figura 4 se muestra el potencial bruto de bagazo calculado para el periodo estudiado, se compara con el PBM calculado por medio de la ecuación 4.

Como se puede observar en la Figura 4 en el año 2009 existe un punto de inflexión en el potencial bruto debido a que en ese año se disponía de una menor cantidad de bagazo por disminución en la molienda de caña.

A partir de 2009, el potencial bruto de bagazo se va incrementando y superando, a partir del 2016, al PBM 1 000 000 MJ/día, debido a que se molió más caña en esos años, esto significa que dentro de un tiempo, si se mantiene la tendencia, hay que recalcular el potencial bruto máximo de bagazo.

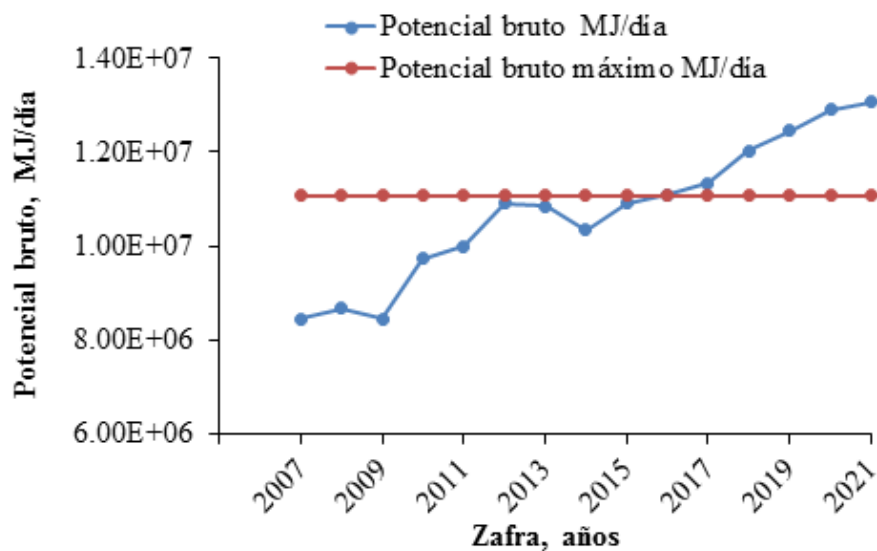


Figura 4. Comportamiento del potencial bruto en la EA Héctor Rodríguez por zafra para el período 2007-2021

Al aumentar el potencial de biomasa se puede cubrir la demanda energética del central azucarero y queda un excedente energético aún mayor para aportar al SEN o el empleo de otras formas de transformación de la biomasa.

4. CONCLUSIONES

1. La cercanía de la RRP promedio calculada (0,3) con valores reportados en la literatura (0,25-0,33) avala el resultado obtenido.
2. La biomasa potencial promedio determinada, 108 974 t_{bagazo}, permite planificar la utilización del recurso energético bagazo en la EA Héctor Rodríguez.
3. Los cambios tecnológicos realizados en la EA Héctor Rodríguez, a partir del 2016, sugieren la necesidad de una nueva evaluación para determinar el potencial bruto máximo en un periodo posterior.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los trabajadores y especialistas de la Empresa Azucarera Héctor Rodríguez por facilitar los datos para la confección de este artículo científico.

REFERENCIAS

- Akgün, O., Luukkanen, J., & Majanne, Y., Theoretical bioenergy residue potential in Cambodia and Laos., World Renewable Energy Congress 2011-Sweden, Linköping, Sweden, 2011, pp. 335-342. <http://dx.doi.org/10.3384/ecp11057335>
- Alhassan, E.A., Olaoye J.O., Olayanju T.M.A., & Okonkwo C.E., An investigation into some crop residues generation from farming activities and inherent energy potentials in Kwara State. Nigeria., In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, Vol. 640, No. 1, 2019, 012093. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/640/1/012093/pdf>
- Bretón, D., Estimación de la biomasa cañera potencial en la Unidad Empresarial de Base Héctor Rodríguez., Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Mecánico, Especialidad Ingeniería Mecánica en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, 2012. <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/12420>
- Delgado, I., Jorge, H., Vera, A., Céspedes, A., Torres, I., Cruz, R., Vaillan, Y., Puchades, Y., Rodríguez, R., Pérez, J.C., y Santos, J.C., Los momentos de cosecha en la caña de azúcar y la estabilidad en cinco ambientes de Cuba, Centro Agrícola, Vol. 42, No. 1, 2015, pp. 63-68. <http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/html/v42n1/body/cag09115.html>
- Esteban, D.A.A., de Souza, Z.M., Tormena, C.A., Lovera, L.H., de Souza, E., de Oliveira, I.N. & de Paula, N., Soil compaction, root system and productivity of sugarcane under different row spacing and controlled traffic at harvest, Soil and Tillage Research, Vol. 187, 2019, pp. 60-71. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.11.015>
- FAO, Bioenergía y seguridad alimentaria evaluación rápida. Residuos agrícolas y residuos ganaderos, Manual de Usuario, 2014, pp. 1-35. <https://www.fao.org/common-pages/search/es/?q=Bioenerg%C3%ADa%20y%20seguridad%20alimentaria%20evaluaci%C3%B3n%20r%C3%A1pida.%20Residuos%20agr%C3%ADcolas%20y%20residuos%20ganaderos>
- Garcés, R.V., y Martínez, S.V., Estudio del poder calorífico del bagazo de caña de azúcar en la industria azucarera de la zona de Risaralda, Tesis presentada en opción al título de Bachiller, Tecnología Química, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, 2007, pp. 1-57. <https://hdl.handle.net/11059/825>
- Gondwe, K.J., Chiotha, S.S., Mkandawire, T., Zhu, X., Painuly, J., & Taulo, J.L., Crop residues as a potential renewable energy source for Malawi's cement industry, Journal of Energy in Southern Africa, Vol. 28, No. 4, 2017, pp. 19-31. http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-447X2017000400003
- Hensley-Duku, M., Gu, S., & Ben-Hagan, E., A comprehensive review of biomass resources and biofuels potential in Ghana, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, 2011, pp. 404-415. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.033>
-

- Hernández, A., González, V.M., y Freide, M.L., Aprovechamiento de las posibles fuentes de biomasa para entregar más electricidad en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez, Centro Azúcar, Vol. 44, No. 4, 2017, pp. 88-97. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/123/116
- Koopmans, A., & Koppejan, J., Agricultural and forest residues -generation, utilization and availability, In Regional Consultation on Modern Applications of Biomass Energy, Kuala Lumpur, Malaysia, January 1997, pp. 1-23. https://scholar.google.com/cu/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&as_vis=1&q=AGRICULTURAL+AND+FOREST+RESIDUES++GENERATION%2C+UTILIZATION+AND+AVAILABILITY1&btnG=
- López-Bravo, E., Saucedo-Levi, E.R., González-Cueto, O., Herrera-Suárez, M. y Betancourt-Rodríguez, Y., Efectos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar sobre el suelo, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 31, No. 1, 2022, pp. 5-12. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542022000100001&script=sci_arttext&tlng=es
- Menes, S., González, V., Leiva, J., Vilches, L.J., y Hernández, A., Alternativa para aumentar la entrega de energía eléctrica en el central azucarero “Antonio Sánchez”, Centro Azúcar, Vol. 40, No. 1, 2013, pp. 66-72. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/287
- Reyes, J.L., Pérez, R., y Betancourt, J., Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental, Revista Ecosolar, No. 3, 2003, pp. 1-8. <http://www.cubasolar.cu/1-8/>
- Rodríguez, L.A., y Valencia, J.J., Impacto del tráfico de equipos durante la cosecha de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 16, No. 10, 2012, pp. 1128-1136. <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/LkKqtT98S5H3tKBXqHHf6ph/>
- Rosales, Y., Asimilación y transferencia de una bioeléctrica a partir de biomasa en el central azucarero “Héctor Rodríguez” de Sagua la Grande, Tesis presentada en opción al Grado Científico de Máster en Ciencias Técnicas, Especialidad Ingeniería Química, Universidad Central ‘Marta Abreu’ de Las Villas, Cuba, 2020.
- Rubio, A., y Rubio, M., Integración y esquemas energéticos para el máximo aprovechamiento de la biomasa cañera en la generación de electricidad, Centro Azúcar, Vol. 45, No. 4, 2018, pp. 20-31. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/78
- Sajjakulnukit, B., Yingyuad, R., Maneekhao, V., Pongnarintasut, V., Bhattacharya, S., & Salam, P.A., Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in Thailand, Biomass and Bioenergy, Vol. 29, No. 3, 2005, pp. 214-224. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.03.009>
- Sebastián, F., García, D., y Rezeau, A., Energía de la Biomasa, Serie Energías renovables, Prensas Universitarias de Zaragoza, Universidad de Zaragoza, España, Vol. I, 2010, pp. 1-557. <https://puz.unizar.es/1103-energia-de-la-biomasa-volumen-i-serie-energias-renovables.html>
- Zhang, F., Li, C., Yu, Y., & Johnson, D.M. Resources and future availability of agricultural biomass for energy use in Beijing. Energies, Vol. 12, No. 10, 2019, pp. 1-14. <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/10/1828>
-

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Diubel Humberto Bretón Glean. Investigación, conservación de datos, redacción - primera redacción.
 - Estud. José Carlos Tornés Peraza. Investigación, redacción - primera redacción.
 - Dra.C. Lizet Rodríguez Machín. Metodología, redacción - revisión y edición, supervisión.
-