



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

Dupuy-Parra, José Rolando; Utria-Mendoza, Ignacio; Videau-Aguilar, Mairelis; Lesme-Jaén,
René; Almareles-Arceo, Ángel; Fernandez-Justiz, Reinaldo; Guerra-Maldonado, Giorvys
Estimación del potencial energético de los residuos industriales en el aserrío Cayogüin de Baracoa
Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 1, 2022, Enero-Marzo, pp. 116-128
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Santiago de Cuba, Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181372324013>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Estimación del potencial energético de los residuos industriales en el aserrío Cayogüin de Baracoa, Cuba

Estimation of the energy potential of industrial waste in the Cayogüin sawmill in Baracoa, Cuba

Autores:

José Rolando Dupuy-Parra, jose@catedes2.gtmo.inf.cu. Orcid 0000-0002-9262-5512.¹

Ignacio Utria-Mendoza, ordenación@eficoa.gtm.minag.cu. Orcid 0000-0002-5022-5684. Empresa Agroforestal Baracoa. Teléfono: 21-642471, 21-642172. Guantánamo, Cuba.

Mairelis Videau-Aguilar, denise@cug.co.cu. Orcid 0000-0001-6363-7082. Universidad de Guantánamo. Teléfono: 21321962. Guantánamo, Cuba.

René Lesme-Jaén, lesme@uo.edu.cu. Orcid 000-0001-7274-0153. Universidad de Oriente. Teléfono: 22635233. Santiago de Cuba, Cuba.

Ángel Almareles-Arceo, aalmarales@catedes2.gtmo.inf.cu¹

Reinaldo Fernandez-Justiz, reinaldo@catedes2.gtmo.inf.cu¹

Giorvys Guerra-Maldonado, giorvys@catedes2.gtmo.inf.cu. Orcid: 0000-0002-7003-5095.¹

¹Centro de Aplicaciones Tecnológicas para el Desarrollo Sostenible. Teléfonos 21355839 y 21326489. Guantánamo, Cuba.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial energético para la generación de electricidad a partir de los residuos de la elaboración de la madera en un aserrío. Se utilizó la metodología del cálculo de la cantidad de residuos, con un total de 11405271,3Kg anuales. También fue evaluado el potencial energético mediante el empleo de los modelos matemáticos para estimar la generación de electricidad anual y un modelo de gasificación downdraft acoplado a un motor de combustión interna. Como resultado se pudo tener una generación de 2,492 MWh.

Palabras clave: aserrío, desechos, energía, electricidad, renovables.

ABSTRACT

This work was intended to evaluate the energetic enhancement for the electricity generation in residuals resulting from the processing of wood in a sawmill. To accomplish this objective, I used the methodology of calculating the amount of waste with a total of 11405271.3Kg per year. I have also evaluated the energy potential and for that some mathematical models were used to estimate the annual generation of electricity by means of a downdraft gasification model coupled to an internal combustion engine. The results showed that it is possible to have a generation of 2.492 MWh.

Keywords: sawmills, waste, energy, electricity, renewable.

INTRODUCCIÓN

La gasificación es una técnica emergente con potencial crecimiento en la valorización energética de los residuos sólidos, dada su capacidad para convertir este material en un gas combustible amigable con el medioambiente (Achinas, 2020) y reducir la contaminación que provocan estos residuales. El uso de biomasa forestal para la obtención de energía eléctrica representa una de las disyuntivas que puede suplir el consumo de energía del sistema electroenergético nacional a largo, mediano y corto plazo; lo que propiciaría una mayor diversificación en la matriz energética en las industrias procesadoras de madera.

En la actualidad las tecnologías convencionales más usadas en el mundo para generar energía son alimentadas con petróleo o carbón como fuentes primarias, lo que produce enormes cantidades de CO₂, entre otros gases, que provocan el efecto invernadero y el calentamiento global. La reducción de estos gases es el fundamento para incentivar y desarrollar proyectos con fuentes alternativas de energía en países que cuenten con potencial, tales como alta radiación solar, velocidad de viento o residuos de biomasa (Pantoja *et al.* 2016). En este sentido el material gasificado proviene del residuo sólido que genera el proceso productivo de las fábricas y aserríos.

El estudio se enmarcó en el desempeño de la composición y poder calorífico del gas producido según la materia utilizada.

A diferencia de los anteriores, en este estudio se consideró el proceso en cuestión, sometido a restricciones que garanticen que el gas producido pueda ser convertido posteriormente en combustible sintético (Im-orb, *et al.* 2016), por lo que se hizo una serie de estudios encaminados al aprovechamiento óptimo de estos residuos forestales.

Por todo lo antes planteado el estado cubano se ha dado la tarea de encauzar proyectos para el aprovechamiento de esta energía renovable. En la actualidad existen cuatro instalaciones de gasificación de madera. Las autoridades de la provincia y, en especial, del Centro de Aplicaciones Tecnológicas para el Desarrollo Sostenible (Catedes) trabajan de conjunto con la Empresa Agroforestal de Baracoa para desarrollar un proyecto encaminado a la instalación de un gasificador de madera en el aserrío Cayogüin.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se utilizó un modelo del proceso basado en el equilibrio termoquímico no estequiométrico de la madera, teniendo en cuenta que se pierde el 80 % por la generación de electricidad con la instalación de un sistema de gasificación. El trabajo se realizó en el municipio Baracoa en la reserva forestal Nipe-Zagua-Baracoa, provincia de Guantánamo, por las características de sus paisajes naturales. En esta zona existe una diversificación de especies vegetales que potencia la biodiversidad y los procesos biológicos naturales por encima y por debajo de la superficie del suelo, lo que contribuye a un mayor aprovechamiento del agua y una mayor eficiencia en el uso de nutrientes, así como a la mejora y sostenibilidad de la producción de cultivos.

Se trabajó con los tratamientos silviculturales como una herramienta más del proceso de manejo de bosques naturales, procurando mantener la productividad y rentabilidad del recurso forestal (Abarca *et al.*, 2020).

En este estudio se desarrollaron ecuaciones para determinar experimentalmente el volumen de residuos forestales. Para obtener estos valores se tuvo en cuenta el proceso productivo en el aserrío primario, donde se elaboran los bolos procedentes de las fincas forestales, y un aserrío secundario, donde se produce la madera aserrada y los artículos, para poder estimar el potencial energético (Brosowski *et al.*, 2017).

Para desarrollar el trabajo se emplearon los datos acumulados de la producción del aserrío en el período 2016-2020, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Extracción y elaboración de la madera en el aserrío

Indicadores	U/M	Años					Total
		2016	2017	2018	2019	2020	
Madera en bolo	m ³	4902	4656,3	4691,6	4538,5	3328,9	22117,4
Madera aserrada	m ³	2324	2025,4	2756,8	2699,5	1859,7	1665,7
Leña para carbón	m ³	966,4	484,47	535,5	718,83	752,22	3457,4
Carbón	T	222,3	154,53	286,65	238,77	147,42	1049,5

Fuente: autores

Tabla 2. Coeficientes de residuos en los aserríos primarios y secundarios

Coeficientes de residuos primarios		Coeficientes de residuos secundarios	
Residuos	Valores	C_R aserrín.	0.91 m ³ /m ³ madera
C_R aserrín.	0.16 m ³ /m ³ bolos	C_R virutas.	0.39 m ³ /m ³ madera
C_R cotaneras.	0.21 m ³ /m ³ bolos	C_R astillas.	0.22 m ³ /m ³ madera
C_R astillas.	0.13 m ³ /m ³ bolos	C_R total.	1.50 m ³ /m ³ madera
C_R total.	0.50 m ³ /m ³ bolos	C_D aserrín.	0.60 m ³ /m ³ residuos
C_D aserrín.	0.32 m ³ /m ³ residuos	C_D virutas.	0.25 m ³ /m ³ residuos

Fuente: Lesme *et al.*, 2006

En la tabla 2 se presentan los coeficientes de densidad aparente en función de los residuos primarios y los residuos secundarios de la madera. Estos coeficientes se establecen a partir de estudios realizados, en los cuales se determinó su potencial anual expresado en toneladas de petróleo equivalentes; en este caso estos coeficientes de la tabla 3 y las densidades aparentes de la madera (tabla 2) se obtuvieron a partir de la cantidad de madera en bolos y madera aserrada (tabla1) en los últimos 5 años.

Tabla 3. Densidad de la madera para los residuos primarios y secundarios

Densidad de los residuos primarios		Densidad de los residuos secundarios	
Aserrín	200 Kg/m ³	Aserrín	200 Kg/m ³
Costanera	952 Kg/m ³	Virutas	952 Kg/m ³
Astilla	952 Kg/m ³	Astilla	952 Kg/m ³

Fuente: Lesme *et al.*, 2006.

El tiempo de trabajo del aserrío durante el período analizado es de 4047 horas. También se determinó la cantidad de residuos, tanto primarios como secundarios, y el total generado; los cuales se obtuvieron a partir de las siguientes expresiones:

$$\text{Aserrín} = C_R * \text{Madera en bolo} * p_{\text{Aserrín}} \quad (1)$$

$$\text{Costanera} = C_R * \text{Madera en bolo} * p_{\text{Costanera}} \quad (2)$$

$$\text{Astillas} = C_R * \text{Madera en bolo} * p_{\text{Astillas}} \quad (3)$$

Expresiones de la cantidad de residuos secundarios

$$\text{Aserrín} = C_R * \text{Madera Aserrada} * p_{\text{Aserrín}} \quad (4)$$

$$\text{Virutas} = C_R * \text{Madera Aserrada} * p_{\text{Virutas}} \quad (5)$$

$$\text{Astillas} = \text{CR} * \text{Madera Aserrada} * p_{\text{Astillas}} \quad (6)$$

donde

Aserrín: cantidad de aserrín generado, tanto primario como secundario

Costanera: cantidad de costanera generada

Virutas: cantidad de virutas generada

Astillas: cantidad de astillas generada, tanto primaria como secundaria

CR: coeficiente de residuos, tanto primario como secundario

ρ : densidad de los residuos, tanto primario como secundario

A partir de la cantidad de biomasa de residuos primarios y secundarios se utilizó la siguiente ecuación para determinar el total de los residuos como primarios y secundarios:

$$T_{PS} = T_P + T_S \quad (7)$$

donde:

T_{PS} : Total de residuos primarios y secundarios

T_P : Total de residuos primarios

T_S : Total de residuos secundarios

La mayor parte de estos residuos son de carácter orgánico, que forman la denominada biomasa residual forestal que no se aprovecha, contamina el medioambiente y constituye un enorme potencial para la producción de energía limpia; estas grandes cantidades de residuos se puede determinar por la ecuación 1. La biomasa residual ofrece perspectivas muy amplias de aprovechamiento, ya que se produce de forma continua y creciente como consecuencia de la actividad humana; además, su eliminación constituye un importante problema (Reyes *et al.*, 2020).

$$D_{\text{Horario}} = \frac{T_{SP}}{H_{\text{Trab}}} \quad (8)$$

donde:

D_H : Disponibilidad horario de los residuos

T_{PS} : Total de residuos primarios y secundarios

H_{Trab} : Total de horas trabajadas en los 5 años

Se utilizaron las expresiones 2 y 3 para el cálculo de la generación de residuos en el aserrío primario y secundario; después de tener la disponibilidad horario se calculó el porcentaje de coeficiente de residuos forestales (Dupuy *et al.*, 2019), teniendo en cuenta que la humedad responde al medio de prueba, a

partir de la toma de la muestra (residuos forestales), los cuales se procesaron en el laboratorio de la Geominera de Oriente. Los resultados arrojaron que la masa de trabajo (W_t) es de 21,54 % y el poder calorífico (Q_b^t) 16,5 MJ/Kg a, estas condiciones se obtuvieron bajo regímenes normales de trabajo, utilizando la composición del pino en porciento (C= 47.95, H= 6.03, O=45.00 y el N=1.02). Se utilizó el modelo propuesto por Lesme *et al.* (2006) y Jianfeng *et al.* (2010). También se determinó que el coeficiente de residuos forestales es el que determina la cantidad de energía que presenta la madera procesada en el espacio de tiempo trabajado.

$$\%_{CRF} = D_H * Q_b^t \quad (9)$$

donde:

$\%_{CRF}$: % de coeficiente de residuos forestales

D_H : Disponibilidad horario de residuos

Q_b^t : Poder calorífico bajo de la madera

La generación de electricidad utilizando gas de la biomasa como combustible en motores de combustión interna es una tecnología comercial (Lesme *et al.*, 2016). En este sentido el trabajo tiene como fin determinar la generación anual de electricidad en el aserrío Cayogüin, a partir de la determinación del coeficiente de residuos forestales. En el proceso de gasificación de la madera solo se utiliza el 20 % los residuos forestales para la generación de electricidad.

$$\%_{Cee} = \%_{CRF} * 20\% \quad (10)$$

donde

$\%_{Cee}$: Generación anual electricidad Aserrío Cayogüin con residuos forestales.

RESULTADOS

La investigación se realizó en el Aserrío Cayogüin del municipio Baracoa, de la provincia de Guantánamo.

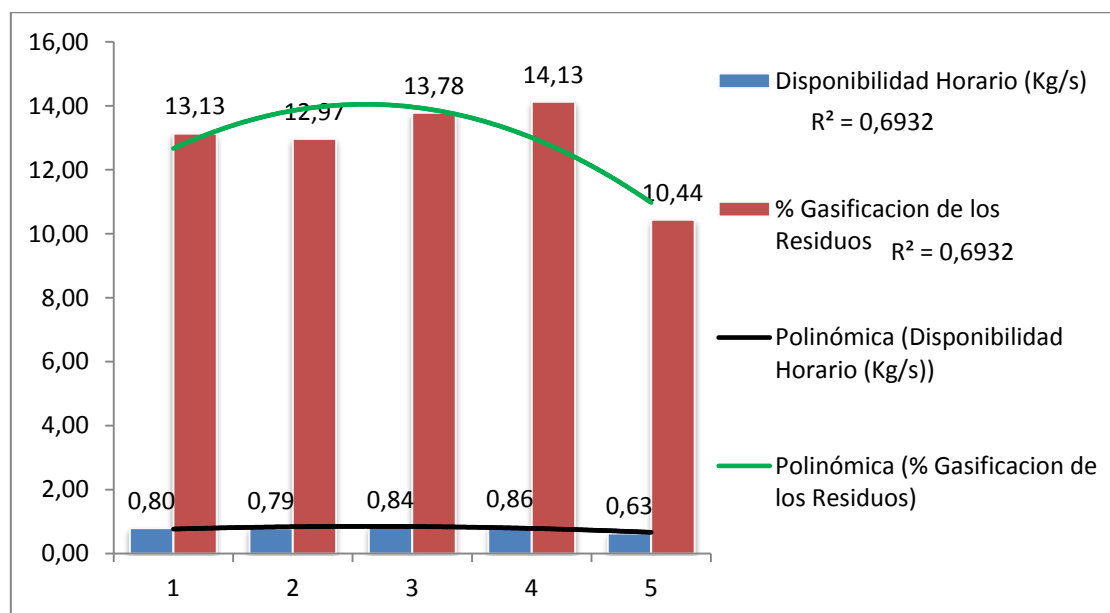
Figura 1. Disposición final de los residuos forestales en el aserrío Cayogüin



Fuente: autores

Acorde con los resultados obtenidos por los parámetros, tales como los residuos primarios, con un total de 7858895,42 Kg anuales, y secundarios, con 3546375,84 Kg anuales, se pudo determinar el total de residuos generados, con 11405271,26 Kg anuales. En correspondencia con lo antes planteado, se observa en la figura 1 que existe una gran cantidad de estos residuos, sin un destino final, y dispuestos en áreas cercanas a la industria.

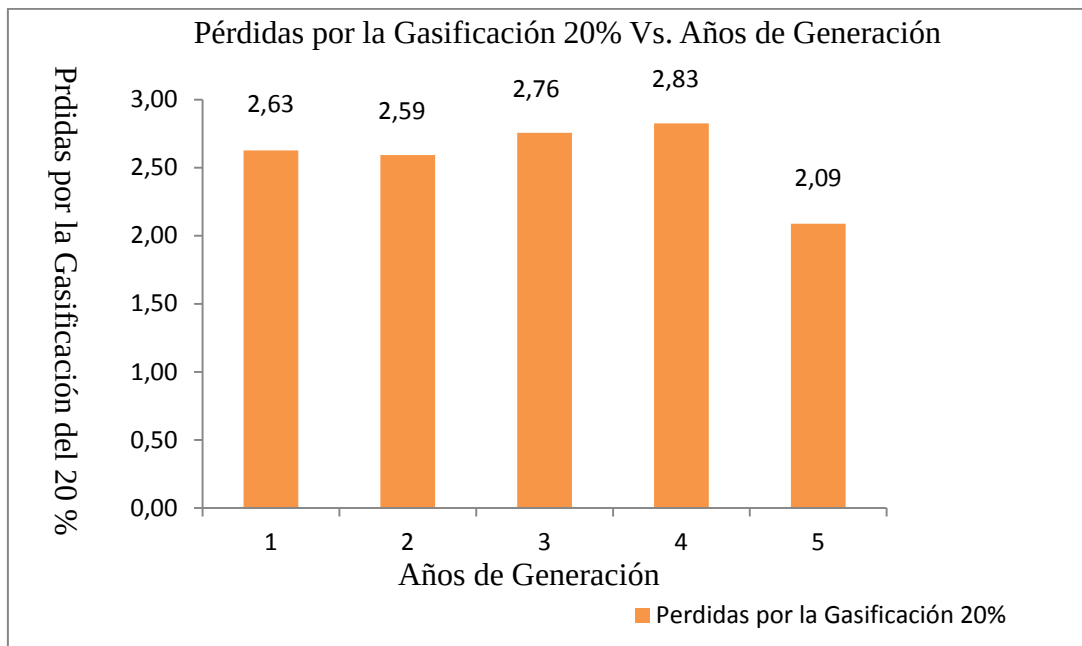
Figura 2. Comportamiento de la disponibilidad horario y la gasificación de los residuos



Fuente: autores

Después de determinar esta masa de residuos fue posible obtener los resultados de disponibilidad horaria, así como también el porcentaje de gasificación de los residuos. Esto contribuyó a la obtención de los valores que se aprecian en la figura 2, donde existe una correspondencia lineal en la disponibilidad horaria, así como también en el porcentaje de gasificación de los residuos. La R-cuadrada de los dos modelos 0,6932 significa que hay un ajuste apropiado en los dos factores antes mencionados, ya que estos valores exceden el umbral del 0,6, tal como expresó Webster (2000). En el caso de la gasificación de los residuos, el mejor año es 2018 y el peor 2019, los otros tres se mantienen estables; esto se encuentra referenciado según el comportamiento de producción del aserrío en sus dos etapas, tanto en la primaria como en la secundaria.

Estos resultados son acordes con los obtenidos por Raza *et al.* (2018) y Arvind & Thakur (2019). En el estudio realizado se mantienen estable en los primeros cuatro años, con un ligero descenso en el último año.

Figura 3. Proceso de pérdidas producto de la Gasificación de la Biomasa

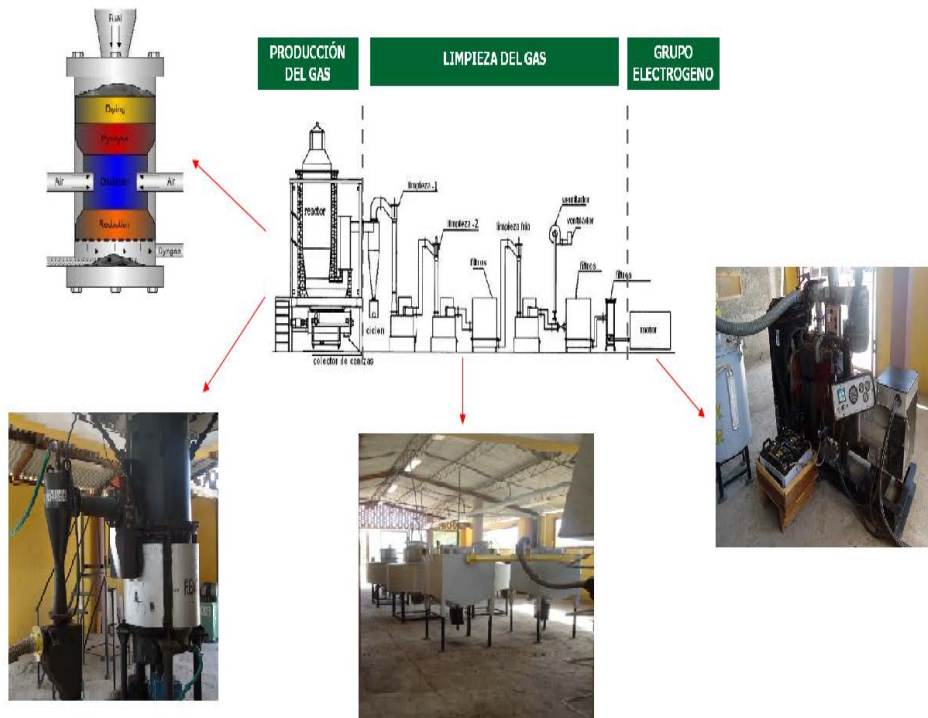
Fuente: autores

Varios investigadores apuntan su investigación a la mejora del rendimiento de la gasificación de corriente a partir del modelo gasificador *downdraft* (Dupuy *et al.*, 2019; Lesme *et al.*, 2016; Suhartono, *et al.*, 2016; Tavares *et al.*, 2019). En tal sentido y como se puede valorar en la figura 3, en cuanto al comportamiento de las pérdidas del 20 % contra los años de generación, el mejor año fue 2018 y el peor de todos 2019. Los años 2015, 2016 y 2017 se mantuvieron estables en correspondencia con lo que se muestra en la figura 2. Para que se cumpla el proceso de pérdidas producto del proceso de la gasificación de los residuos forestales se debe aplicar la tecnología de gasificador acoplado al motor de combustión interna, que se divide en tres partes fundamentales, tales como la producción de gas, la limpieza de ese gas de síntesis y el grupo electrógeno donde se acopla el motor con el generador, como se puede apreciar en la figura 4.

Sin embargo, en estudios similares, por ejemplo, en España, se han empleado estos sistemas con una alta eficiencia, combinados con bioenergéticos, lo que genera más energía eléctrica que la energía fósil consumida, según lo reportado en la bibliografía (Martín, 2017). Es necesario continuar las investigaciones que permitan desarrollar en la provincia de Guantánamo

tecnologías que empleen estos residuos que contamina al medioambiente, de modo que generen energía limpia.

Figura 4. Esquema de un sistema de Gasificador *Downdraft* acoplado a motor de combustión interna



CONCLUSIONES

En el presente trabajo se evaluó el comportamiento del potencial energético para la generación de electricidad, a partir de residuos generados de la elaboración de la madera en un aserrío. Desde el punto de vista de la relación de la disponibilidad horaria y su comportamiento en los 5 años estudiados el resultado fue de 3,91 Kg/s. El potencial que tiene el aserrío en el tiempo por la acumulación de los residuos es de 64,45 MW, lo cual confirma la efectividad de la generación de electricidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abarca Valverde, P., Meza Picado, V. y Méndez Gamboa, J. (2020). Evaluación de tratamientos silviculturales en la sostenibilidad de bosques tropicales en la Región Huetar Norte, Costa Rica. *Ciencias Ambientales*, 54(1), 140-166. <https://doi.org/10.15359/rca.54-1.8>

Achinas, S. (2020). *An Overview of the Technological Applicability of Plasma Gasification Process*. doi: 10.1007/978981-32-9595-7_15

Arvind Singh, B. & Thakur, N.S. (2019). Small scale biomass gasification plants for electricity generation in India: Resources, installation, technical aspects, sustainability criteria & policy. *Rev. Biomass and Bioenergy*, 28, 112-126. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2018.12.004>

Brosowski, A., Thrän, D. & Mantau, U. (2016). A review of biomass potential and current utilization –Status quo for 93 biogenic wastes and residues in Germany. *Rev. Biomass and Bioenergy*, 95, 257-272. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.10.017>

Dupuy Parra, J.R., Garrido Montaya, O. y Guerra Maldonado, G. (2019). Cálculo de cantidad de residuos para generación de electricidad utilizando la gasificación de la madera; una solución para mitigar impactos ambientales. *ECOVIDA*, 9(1), 39-46. <http://revistaecovida.upr.edu.cu>

Im-orb, K., Simasatitkul, L. & Arpornwichanop, A. (2016). Analysis of synthesis gas production with a flexible H₂ /CO ratio from rice straw gasification. *Fuel*, 164, 361-73. doi:10.1016/j.fuel.2015.10.018

Jianfeng, S., Shuguang Z. & Xinzhi, L. (2010) .The prediction of elemental composition of biomass based on proximate analysis. *Energy Conversion and Management*, 51(5), 983–987. doi: 10.1016/j.enconman.2009.11.039.

Lesme Jaén, R., García Faure, L., Oliva Ruiz, L.O. (2016). Gasificación de biomasa para la generación de electricidad con motores de combustión interna. Eficiencia del proceso. *Tecnología Química*, 36(2), 133-144. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852016000200002

Lesme Jaén, R., Oliva Ruiz, L.O. y Palacio Barrera, A. (2006). Coeficientes de residuos de La industria forestal. *Tecnología Química*, 26(3), 26-29. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543751004>

Martín Sastre, C. (2017). *Evaluación medioambiental de la generación de energía eléctrica a partir de biomasa agrícola en España mediante análisis de ciclo de vida* (Tesis de Doctorado). Instituto de Investigación Tecnológica (IIT), Universidad Pontificia Comillas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI).

Pantoja Bucheli, A.D., Guerrero Ordóñez, J.C. y Castillo Muñoz, J.F. (2016). Metodología para el aprovechamiento del potencial energético con biomasa forestal en el departamento de Nariño: caso de estudio. *Ingeniería Solidaria*, 12(20), 43-59. <http://dx.doi.org/10.16925/in.v19i20.1415>

Raza Naqvi, S., Jamshaid, S. & Naqvi, M. (2018). Potential of biomass for bioenergy in Pakistan based on present case and future perspectives. *Biomass and Bioenergy*, 81(1), 1247-1258. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.012>

Reyes Suárez, Y., Arteaga Barrueta, M. y Morejón Mesa, Y. (2020). Valoración del potencial energético de los residuos agroindustriales de tomate para su empleo como biocombustible. *Ingeniería Agrícola*, 10(2), 37-44. <http://opn.to/a/mmhY7>

Suhartono, B., Prasetyo, D. & Ikrimah, A. (2016). Synthetic gas (syngas) production in downdraft corn cob gasifier and its application as fuel using conventional domestic stove. *Rev. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(8), 5238-5243.

Tavares, R., Ramos, A. & Rouboa, A. (2019). A theoretical study on municipal solid waste plasma gasification. *Waste Manag.*, 90, 37-45. DOI 10.1016/j.wasman.2019.03.051

Webster, A.L. (2000). *Estadística aplicada a los negocios y a la economía* (3ra ed.) Colombia: Editorial Irwin McGraw-Hill.

Recibido: 24 de septiembre de 2021

Aprobado: 15 de noviembre de 2021