

Artículo de Revisión

**PELLETS DE BAGAZO DE CAÑA, UNA OPORTUNIDAD
ENERGÉTICA**

SUGARCANE BAGASSE PELLETS, AN ENERGY OPPORTUNITY

Norlem Liaño Abascal^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-8032-0423>

Luis Eduardo Guerra Rodríguez¹ <https://orcid.org/0000-0002-8329-8193>

Misdelki Pérez Colas¹ <https://orcid.org/0000-0003-1858-705X>

Erenio González Suárez² <https://orcid.org/0000-0001-5741-8959>

¹ Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Aplicadas. Universidad Ignacio Agramonte Loynaz, Camagüey, Cuba.

² Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Marzo 16, 2023; Revisado: Abril 27, 2023; Aceptado: Mayo 8, 2023

RESUMEN

Introducción:

Esta investigación surge a partir de la necesidad de contar con criterios que avalen la versatilidad del bagazo de caña, no solo utilizado como combustible del propio proceso que lo produce, sino también su empleo en las formas que actualmente se utilizan los residuos agroindustriales, en forma de pellets.

Objetivo:

Revisar en la bibliografía lo que se expone sobre el uso, propiedades y los pretratamientos aplicados al bagazo de caña, que le confieren potencialidades como portador energético en forma de pellets.

Materiales y Métodos:

Se consultaron referencias de los últimos diez años, donde se abordan los temas relacionados con el uso del bagazo, sus propiedades, los diferentes tipos de pretratamientos que puede recibir antes de ser utilizado como portador energético y las sustancias que de él pueden extraerse.

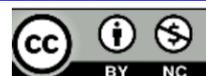
Resultados y Discusión:

De las propiedades analizadas, se encontraron bajos contenidos de nitrógeno y azufre. Además, el poder calórico se observó en un intervalo de 17-19 MJ/kg. Entre sus componentes lignocelulósicos, la celulosa es la de mayor por ciento. Como pellets, la



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: Norlem Liaño, Email: norlem.liano@reduc.edu.cu



presencia de lignina es fundamental durante la compactación. Se buscaron las características de los pellets de biomasa observándose que los de bagazo de caña cumplen con las normas.

Conclusiones:

La revisión realizada es punto de inicio para investigaciones dirigidas hacia el estudio del aprovechamiento de residuos agroindustriales como portador energético en forma de pellets.

Palabras clave: bagazo de caña; pellets; pretratamiento; valor calórico superior.

ABSTRACT

Introduction:

This research arises from the need to have criteria that support the versatility of sugarcane bagasse, not only used as fuel for the process that produces it, but also its use in the ways that farming industry residues are currently used, in the form of pellets.

Objective:

To review in the bibliography what is exposed about the use, properties and pre-treatments applied to sugarcane bagasse, which are the cause of its potential as an energy carrier in the form of pellets.

Materials and Methods:

References from the last ten years were consulted, in relation to the use of bagasse, its chemical and energetic properties, the different types of pre-treatments that can receive before being used as an energy carrier and the substances that are extracted.

Results and Discussion:

From the physical properties analyzed, low nitrogen and sulfur contents were found. In addition, the caloric power was observed in a range of 17-19 MJ/kg. Among its lignocellulosic components, cellulose is the one with the highest percentage. Like pellets, the presence of lignin is essential during compaction. The characteristics of the biomass pellets were searched, observing that the sugarcane bagasse complies with the standards.

Conclusions:

The review carried out is the starting point for research directed towards the study of the use of agro-industrial waste as an energy carrier in the form of pellets.

Keywords: sugarcane bagasse; pellets; pretreatment; higher caloric value.

1. INTRODUCCIÓN

Del proceso de producción de azúcar se obtienen grandes volúmenes de bagazo que pueden constituir un problema ambiental, sin embargo, no es así debido a la gran utilidad que este tiene. Sus propiedades tanto físicas, químicas como biológicas le confieren una serie de valores que lo hacen mundialmente muy utilizado.

Además, de los usos convencionales, que en los últimos tiempos siguen siendo útiles, actualmente se emplea bagazo bajo el concepto de biorrefinería, debido precisamente a su contenido de azúcares utilizables con fines muy específicos, sobresaliendo entre ellos

la obtención de biocombustibles (Silva y col., 2016; Teymennet y Trejo, 2021).

En Cuba, al terminar la zafra azucarera, queda un sobrante significativo de este residuo cañero, que puede ser debidamente almacenado para su posterior uso como portador energético o eléctrico, si se aplican los métodos de compactación que permiten la reducción de su volumen e incluso mejora su modo de transportación. Siendo las formas de briquetas o pellets las que se han observado últimamente, como alternativa para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales (Maradiaga y col., 2017; Muñoz, 2017; Aguilar y col., 2019; Cerrate y Córdova, 2020).

Las necesidades energéticas actuales, ante el agotamiento de los combustibles fósiles, el incremento del costo de estos, así como el aumento de la contaminación ambiental, requieren de alternativas que permitan hacer un uso eficiente de fuentes energéticas disponibles y aprovechables a partir de los desperdicios de las industrias, dentro de los que el bagazo, es líder.

De los componentes de este desecho lignocelulósico (lignina, celulosa y hemicelulosa) se obtienen subproductos que, al ser transformados en azúcares mediante pretratamientos, son una materia prima versátil y sustentable para la producción de diversos productos de uso común (Teymennet y Trejo, 2021; Tinoco y Serrano, 2021).

El objetivo de este trabajo es, revisar en la bibliografía lo que se expone sobre el uso, propiedades y los pretratamientos aplicados al bagazo de caña, que le confieren potencialidades como portador energético en forma de pellets.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se consultaron referencias de los últimos diez años, donde se abordan los temas relacionados con el uso del bagazo, sus propiedades, los diferentes tipos de pretratamientos que puede recibir antes de ser utilizado como portador energético y las sustancias que de él pueden extraerse. Para el análisis fueron seleccionados varios temas, iniciando con las aplicaciones del bagazo encaminadas hacia su uso energético, considerando además las propiedades de esta biomasa, que aportan ventajas para ser compactada en forma de pellets. Se resumieron los aspectos esenciales en cuanto a las propiedades, tales como de carbono (C), nitrógeno (N), hidrógeno (H), azufre (S) y oxígeno (O); los componentes mayoritarios y los métodos que se utilizan para separarlos: ácidos, alcalinos y combinados. Se encontraron los criterios acerca de la compactación de residuos agroindustriales en forma de pellets y briquetas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Usos del bagazo de caña

El bagazo es uno de los residuos más aprovechados. Comúnmente empleado como alimento animal, en la fabricación de tableros, como material absorbente, abono orgánico, como materia prima para la industria de pulpa y papel, siendo su uso más amplio como portador energético en los propios procesos azucareros donde son producidos (González y col., 2018; Mesa y Río, 2018; Zea y col., 2019; Cascaret y col., 2020).

Se ha estudiado últimamente, la utilización del bagazo bajo el concepto de biorrefinería (Sierra y col., 2021). Debido a sus propiedades orgánicas al ser un residuo

lignocelulósico, formado fundamentalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, se estudian las formas de extraerle, mediante pretratamientos alcalinos, sustancias de interés industrial como el bioetanol (Waheed y col., 2017; Teymennet y Trejo, 2021; Tinoco y Serrano, 2021). Un ejemplo muy conocido es el caso del furfural, precursor en la síntesis de biocombustibles y que se emplea como solvente o como agente de extracción en la industria farmacéutica y textil (Bautista y col., 2019).

Algunos autores, como Pantoja y col., (2015) y González y col., (2019) han abordado el efecto del pretratamiento alcalino sobre la deslignificación del bagazo de caña, y su biodegradabilidad anaerobia respecto al bagazo sin pretratar. Cabe destacar que Narvaez (2020) realizó estudios sobre el rendimiento al emplear el bagazo de caña como biomasa para la elaboración de bioetanol de segunda generación. Recientemente, Águila y col., (2022) diseñaron las capacidades para una planta de Xilitol, un producto comercializable que tiene importantes aplicaciones en las industrias alimentaria, odontológica y farmacéutica (Mena, 2020).

Se resalta además, el empleo del bagazo como residuo agrícola cañero en la generación de energía eléctrica, que al igual que otros residuos agroindustriales tienen un marcado empleo en las bioeléctricas (Rubio y col., 2019). Es por ello que, Aguilar y Aguilar, (2017) analizaron las ventajas del uso de la biomasa cañera para la operación de una bioeléctrica, asociada a una fábrica de azúcar, obteniéndose mayor tiempo en su operación. Por otra parte, Solano y col., (2020) evaluaron las potencialidades energéticas del bagazo para generar electricidad, demostrando que es posible generarla en grandes cantidades. Así mismo, Correa y Villegas, (2021) destacaron algunas alternativas de valorización del bagazo de caña, afirmando que el mayor interés está relacionado con productos para la industria energética, debido principalmente a la gran cantidad de energía almacenada que posee la biomasa.

El bagazo representa el 28 % de la biomasa agroindustrial azucarera, según Aguilar y Aguilar, (2017) su aprovechamiento depende principalmente de la tecnología empleada en la cosecha de la caña y de la eficiencia en el proceso de conversión energética, lo que le permite ser utilizada en plantas bioeléctricas, sin necesidad del uso de otro combustible a un costo mayor, representando así una oportunidad de ahorro económico y protección del medioambiente.

Solano y col., (2020) hicieron un estudio de la eficiencia energética del bagazo de caña usado como tal para la producción de energía eléctrica y lo compararon con la eficiencia que puede brindar el mismo bagazo de caña al ser gasificado en su estado común de fibra y peletizado, planteando que esta última es la más relevante.

3.2. Propiedades del bagazo de caña

Debido a las propiedades físicas, químicas y biológicas que presenta el bagazo de caña, es considerado un portador energético relevante. Dichas propiedades han sido apropiadamente estudiadas a través de los años debido a que el bagazo siempre ha sido el combustible principal de los procesos azucareros. No obstante, Cantos (2019) caracterizó varios residuos forestales con fines energéticos, y muestra resultados del análisis elemental realizado comparando con diferentes biomásas, entre los que incluye el bagazo, en cuanto a los contenidos de carbono (C), nitrógeno (N), hidrógeno (H), azufre (S) y oxígeno (O), además toma en cuenta el contenido de carbón fijo, cenizas,

humedad y el poder calórico, semejante a lo realizado por Manals y col., (2015) que evaluaron las mismas propiedades físicas y químicas de diferentes tamaño de muestras de bagazo de caña, como parte del estudio de descomposición térmica de las mismas. Destacando que los diferentes tipos de biomasa constituyen un recurso vital como fuente de energía en los países menos desarrollados del planeta, y cobra mayor atención en los países industrializados.

El estudio de las propiedades del bagazo no es una novedad, al ser procedente de un proceso que data de muchos años de existencia, varios investigadores las han estudiado, no obstante, fueron encontradas referencias que permitieron hacer el análisis comparativo siguiente.

La tabla 1 contiene lo que muestran varios estudiosos sobre la composición química del bagazo de caña, lo que en algunos casos llaman análisis elemental, refiriéndose específicamente al contenido de carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno. Se aprecian semejanzas en el reporte de Cantos (2019) y Manals y col., (2015), y una diferencia poco significativa de estos autores con respecto a Solano y col., (2020) y Magne (2018). Nótese que en el caso del azufre hay tres que no ofrecen su valor, debido que es muy bajo el por ciento en relación con los demás componentes, sin embargo, al analizar la diferencia en cada caso, el contenido de azufre sería entre 2,5 - 6,31 %, lejos del valor de 0,03 % que aporta Magne (2018).

Tabla 1. Composición del bagazo de caña, según diferentes investigadores

<i>Composición (%)</i>	<i>Manals y col., (2015)</i>	<i>Magne (2018)</i>	<i>Cantos (2019)</i>	<i>Solano y col., (2020)</i>
Carbono	48,58	48,4	48,58	47
Hidrógeno	5,97	5,8 – 6,1	5,97	6,5
Nitrógeno	0,20	0,2 – 0,3	0,20	-
Azufre	-	0,03	-	-
Oxígeno	38,94	43	38,94	44

El análisis anterior tiene influencia en las emisiones de gases contaminantes debido a que, al emplear este combustible, serán bajas en contenido de NOx y SOx al ser bajos los por cientos que representan el nitrógeno y el azufre dentro la composición del bagazo de caña.

En las referencias consultadas también se muestran otras propiedades, como el contenido de humedad, materia volátil, cenizas y de carbón fijo, conocidos también como análisis inmediato. Donde los por cientos de humedad y cenizas son las más publicados. Se encontraron valores menores del 10 % de humedad y las cenizas en el rango entre 1-5 %. Se incluyen además resultados del poder calórico en un intervalo de 17-19 MJ/kg (Manals y col., 2015; Magne, 2018; Aguilar y col., 2019; Cantos, 2019; Solano y col., 2020).

En la tabla 2 se pueden observar los valores que distintos autores muestran en cuanto a los componentes mayoritarios de la biomasa del bagazo de caña de azúcar en estado natural, según los autores del presente artículo no existen diferencias marcadas entre los valores referenciados.

Tabla 2. Componentes mayoritarios de la biomasa en estado natural

Composición	u/m	UNEP (2013)	Barba (2020)	Guerra (2018)
Celulosa	%	41,3	41,3	44
Hemicelulosa	%	22,6	22,64	32
Lignina	%	18,3	18	24

3.3. Pretratamientos al bagazo de caña

Para la extracción de los componentes principales de los materiales lignocelulósicos (lignina, celulosa y hemicelulosa) se emplean pretratamientos químicos. Torres y col., (2017) en su evaluación sobre diferentes pretratamientos, determinaron el efecto de estos sobre la composición química y cristalinidad en algunos materiales lignocelulósicos, entre ellos el bagazo de caña, que se llevaron a cabo aplicando ácido sulfúrico o hidróxido de sodio, o la combinación de ambos sobre el material. Un trabajo semejante, para las biomásas, lo realizaron Teymenet y Trejo, (2021) considerando además los tratamientos biológicos, que aprovechan la capacidad de varias enzimas de microorganismos degradadores para desarmar la estructura de los polímeros de estas. Al ser sometida la biomasa a pretratamientos, aumenta su poder calórico debido a la ausencia de sustancias que influyen durante la combustión. Si en los procesos de pretratamientos de la biomasa se le extraen algunos compuestos, por ejemplo hemicelulosa o celulosa, el material restante va a aumentar su valor calórico superior (VCS), por el hecho de que aumenta el contenido de lignina en el total de la muestra resultante.

Por otra parte, si se le realizan distintos tipos de pretratamientos al bagazo de la caña de azúcar se podrán separar sus componentes mayoritarios. La tabla 3 presenta los resultados obtenidos por Torres y col., (2017) después de haber aplicado un pretratamiento alcalino, este autor en su artículo también informa los resultados con tratamientos ácidos y combinados. González y col., (2019) emplean también el tratamiento alcalino. Se observan las diferencias entre los por cientos obtenidos en cada caso, asociados a las condiciones en las que se realizaron los pretratamientos, Torres y col., (2017) utilizaron NaOH al 10 %, a una temperatura de 70 °C y un tiempo de contacto de 75 min, González y col., (2019) usaron NaOH al 0,5 % a 25 °C durante 3 h.

Tabla 3. Componentes mayoritarios de la biomasa después del pretratamiento

Composición (%)	u/m	Torres y col., (2017)	González y col., (2019)
Celulosa	%	73	44
Hemicelulosa	%	10,1	38,4
Lignina	%	7,4	17

Debido a que los contextos en los que se realizan los estudios son diferentes, es necesario caracterizar la muestra de bagazo a utilizar siempre que sea necesario un caso de estudio particular, no impidiendo que pueda tomarse alguna de las referencias consultadas como punto de partida para un criterio comparativo.

3.4. Compactación del bagazo de caña (briquetas y pellets)

La compactación de residuos forestales y agroindustriales ha cobrado auge en los años recientes, debido a las ventajas que ofrece, ya sea en forma de briquetas o pellets. Hay que señalar que una de las aplicaciones que abundan por estos días es la peletización del alimento animal, ofreciendo mejoras en la digestibilidad (Loor, 2016; Morales, 2019).

Las briquetas están más difundidas, en forma cuadrada, rectangular, hexagonal, con una perforación en el centro pero, la más conocida es la de forma cilíndrica, teniendo como desventaja que al ser de una mayor dimensión, arden más despacio. Su compactación puede ser a alta, mediana o baja presión y puede fabricarse de manera manual y artesanal, aunque existen diversos tipos de máquinas y plantas briquetadoras (Almache, 2020; Cruz y Vargas, 2020; Ponce y Ruiz, 2022).

Maradiaga y col., (2017) explican cómo produjeron briquetas con bagazo de caña, ajustando la humedad. Una vez obtenidas analizaron su densidad aparente, densidad energética, expansión volumétrica, resistencia dinámica y resistencia a la tracción por comprensión diametral. También Chuguli (2021), elaboró briquetas con la misma biomasa utilizando un aglutinante natural, caracterizando previamente la materia prima, incluyendo el poder calórico y determinando los mismos parámetros de caracterización energética y físico mecánica. Otra experiencia semejante puede observarse en la investigación de Barba (2020) que utilizó el software *Statgraphics Centurion*, donde se estableció que existe una correlación entre las propiedades humedad, volatilidad, cenizas y resistencia a la compresión, para determinar el grado de incidencia de estas variables en el poder calorífico final de la briqueta. Otros residuos y aglutinantes son empleados de forma compacta como portadores energéticos (Huaman y col., 2021).

Sin embargo, ha sido estudiada como alternativa para la generación de energía eléctrica, el uso de combustibles sólidos en forma de pellets, a partir de residuos agrícolas de la cosecha de caña de azúcar. Estos comprimidos poseen un alto contenido energético, baja humedad, y menor volumen de almacenamiento, por tanto son ideales para ser utilizados como combustibles en calderas de biomasa, siendo los países europeos los mayores consumidores y notándose una demanda creciente en el resto de los países del mundo. Existen normas que especifican los criterios de comercialización de esta forma de combustible (Trujillo, 2015; Muñoz, 2017; Pinilla y col., 2021).

Entre las características a considerar en esta forma compactada, Muñoz (2017) y Magne (2018) exponen, para el pellet de bagazo de caña: el diámetro, largo, peso, densidad y humedad, y destacan además información sobre la emisión de gases de combustión al ambiente. Aguilar y col., (2019) citan, “la compresión de biomasa lignocelulósica, obteniendo pequeños cilindros de un tamaño uniforme, reduce sus costos de manejo en comparación con la biomasa convencional y da como resultado un combustible sólido con una mayor homogeneidad estructural”. Agregando que, la calidad de estos pellets se determina principalmente con dos variables: el contenido de cenizas y su poder calorífico, exponiendo estos resultados para el bagazo de caña. Existen hoy plantas peletizadoras, a base de diferentes materiales, con su correspondiente estudio de factibilidad técnico-económica (Cerrate y Córdova, 2020).

Un estudio teórico, realizado por Verdecia y col., (2012), sobre la combustión de pellets de biomasa procedente de la caña, arrojó la cinética química de la combustión de pellets, el tiempo de combustión en función de la etapa controlante del proceso y los

modelos matemáticos teóricos de estos.

Los pellets se pueden fabricar sin ningún aditivo ya que la lignina que se libera de la materia prima, actúa como aglutinante y junto al calor desprendido por la presión ejercida con los rodillos de la peletizadora, se configuran los pellets.

La lignina es el pegamento que mantiene unido el pellet y le da el aspecto brillante y suave. Muchas materias primas, es decir, muchas biomásas disponen de éste pegamento de forma natural y disponen de ella de forma suficiente como para ligar el material con el calor de la peletizadora en el momento de comprimirse (Trujillo, 2015). Concluyéndose que, en el proceso de compactación, no es necesario la utilización de ningún componente aditivo, puesto que los propios componentes lignocelulósicos actúan como aglomerante (González y col., 2019).

La lignina muestra ablandamiento entre 130 - 190 °C y se dice que cambia por debajo de 100 °C bajo la influencia plastificante del agua. Se cree que la lignina suavizada actúa como un pegamento interno durante la densificación (UNEP, 2013). La lignina reformada proporciona puentes sólidos entre las partículas después de la compresión y el enfriamiento (Avellanas, 2015).

Las briquetas y los pellets, aunque están destinadas a objetivos similares, poseen diferencias en cuanto al tamaño, estabilidad, resistencia mecánica y rapidez de combustión. A partir de los estudios revisados es posible entonces, establecer un punto de partida para definir el avance y proyección de investigaciones futuras en torno a la temática que se aborda.

3.4.1. Normas para pellets

Una vez obtenido el pellet de bagazo, este debe ajustarse a las características que los clasifican. Para considerar la calidad de los pellets de biomasa, las normas plantean cuales deben ser sus dimensiones más importantes.

Según Rubio y col., (2019), el pellet es una pieza en forma de cilindro alargado de diámetro entre 6 a 10 mm y densidad entre 600 y 1 200 kg/m³. Las normas contienen información detallada sobre las características de los pellets dentro de ellas las dimensiones con un diámetro entre 4 - 10 mm, un largo de 20 - 40 mm, la humedad en un rango del 8 al 12 %, un VCS entre 17,5 – 19,5 MJ/kg, la durabilidad mayor que 97,5 %, contenido de cenizas menor que 1,5 %, densidad mayor que 600 - 1 200 kg/m³ (Trujillo, 2015; Pinilla y col., 2021). Se observó que los autores que han trabajado con pellets de bagazo de caña se ajustan a las características anteriores (Magne, 2018; Aguilar y col., 2019).

4. CONCLUSIONES

Del análisis bibliográfico realizado se encontraron las propiedades físicas, químicas y biológicas del bagazo de caña, que le permiten tener ventajas para ser utilizado como combustible, considerando lo siguiente:

1. El contenido de Nitrógeno y Azufre es muy bajo con respecto al resto de los componentes lo cual contribuye a una generación de gases de combustión con bajo contenido de NO_x y SO_x.
 2. El valor calórico superior del bagazo de caña se encuentra en un rango de 17-19 MJ/kg atribuyéndole al combustible sus potencialidades energéticas.
-

3. Pueden obtenerse los componentes lignocelulósicos presentes en el bagazo de caña aplicando diferentes formas de pretratamientos, ácidos, básicos y microbiológicos, para la obtención de sustancias de gran interés.
4. El bagazo peletizado mejora las condiciones de almacenamiento, transportación y empleo de este residuo industrial, haciéndolo más atractivo para los procesos de combustión.

REFERENCIAS

- Águila, L.E., González, E., y Albernas, Y., Determinación de las capacidades óptimas de producción de Xilitol extrayendo jugo de los filtros en un central azucarero., Centro Azúcar, Vol. 49, No. 2, 2022, pp. 85–99. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v49n2/2223-4861-caz-49-02-85.pdf>
- Aguilar, P., Ordóñez, C., Carrillo, N., y Méndez, M.A., Parámetros de calidad para pellets de residuos agrícolas., Avances en Investigación Agrícola., Año 3, No. 1, 2019, pp. 417-424. <https://docplayer.es/storage/109/188661071/1678461846/e-NmbG7vXHEKk4jt7A0iHg/188661071.pdf>
- Aguilar, P.A., y Aguilar, E.D., Nuevos paradigmas en la cosecha de la caña para el uso sustentable de la biomasa en la bioeléctrica., ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, Vol. 51, No. 1, 2017, pp. 8-15. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223152661001.pdf>
- Almache, C.A., Rediseño, construcción y automatización de una máquina para la fabricación de briquetas a partir de biomasa., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Mecánico en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2020. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14309/1/15T00735.pdf>
- Avellanas, P., Planta peletizadora con control de calidad en la materia prima en Alcañiz (Teruel)., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Forestal en la Universidad de Valladolid, Soria, España, 2015. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/15229>
- Barba, M.G., Propuesta de implementación de una línea de producción para la elaboración de briquetas de carbón a partir del bagazo., residuo generado de la caña de azúcar., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Ambiental en la Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2020. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14309/1/15T00735.pdf>
- Bautista, L., Castillo, O., Acosta, R.I., Garza, E., y Rodríguez, G.C., Aprovechamiento de bagazo de caña de azúcar para obtención de Furfural., Inventio, Vol. 14, No. 34, 2019, pp. 39–43. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8081196.pdf>
- Cantos, M.A., Caracterización de tres residuos forestales ecuatorianos con fines energéticos Guachapeli, Teca y Fernan Sanchez., Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas, Especialidad Ingeniería Mecánica en la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, 2019.
- Cascaret, D.A., Rodríguez, J., Ricardo, C.A., Quesada, O., y Bahin, L., Utilización de bagazo de caña de azúcar natural y tratado químicamente, como material adsorbente para Cu²⁺., Revista Cubana de Química, Vol. 32, No. 2, 2020, pp. 331-344. <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v32n2/2224-5421-ind-32-02-331.pdf>
- Cerrate, K.K., y Cordova, F.J., Estudio de prefactibilidad para la instalación de una
-

- planta procesadora y comercializadora de pellets compostables a base de arroz y bagazo de caña de azúcar, destinados a la industria plástica del Perú., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial en la Universidad de Lima, Lima, Perú, 2020.
https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/12135/Cerrate_Poves_Cordova_Calderon.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Correa, G.V., y Villegas, P.A., Valorización de residuos de bagazo de caña y plásticos para la generación de compuestos energéticos., Producción + limpia, Vol. 16, No. 1, 2021, pp. 117-135.
https://www.academia.edu/59526725/Valorizaci%C3%B3n_de_Residuos_de_Bagazo_de_Ca%C3%B1a_y_Pl%C3%A1sticos_para_la_Generaci%C3%B3n_de_Compuestos_Energ%C3%A9ticos
- Cruz, F.A., y Vargas, J.S., Diseño de una máquina para la fabricación de briquetas de posos de café., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Mecánico en la Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia, 2020.
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7902/1/4141787-2020-1-IM.pdf>
- Chuguli, B.S., Elaboración de briquetas a partir de bagazo de caña de azúcar como combustible sólido en la industria panelera del sector La Delicia-Pacto., Tesis presentada en opción al título de Ingeniería Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales en la Universidad de UTE, Quito, Ecuador, 2021.
http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/21713/1/73069_1.pdf
- González, J.E., Jaramillo, J.P., Pérez, M., Sablón, N., y Oliva, D., Evaluación físico-mecánica de tableros a base del Aserrín de Pigüe (Piptocoma discolor) y bagazo de caña de azúcar en Pastaza., Revista Amazónica Ciencia y Tecnología, Vol. 7, No. 2, 2018, pp. 95-104. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223158039010.pdf>
- González, A., Hernández, G., y Pereda, I., Pretratamiento alcalino de bagazo de caña para mejorar la producción de biometano., Centro Azúcar, Vol. 46, No. 4, 2019, pp. 79-88. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v46n4/2223-4861-caz-46-04-79.pdf>
- Guerra, L.E., Sustitución de agentes químicos agresivos en pretratamientos ácidos a los residuos lignocelulósicos agroindustriales. Caso bagazo de caña de azúcar., Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas, Especialidad Ingeniería Química en la Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte Loynaz”, Camagüey, Cuba, 2018.
- Huaman, H., Ramírez, M.M., y Surichaqui, R.J., Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche, Jauja., Tesis presentada en opción al título de Ingeniería Ambiental en la Universidad Continental, Huancayo, Perú, 2021.
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10655/1/IV_FIN_107_TE_Huaman_Ramirez_Surichaqui_2021.pdf
- Loor, N.E., Fundamentos de los alimentos peletizados en la nutrición animal., Dominio de las Ciencias, Vol. 2, No. 4, 2016, pp. 323-333.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5802877.pdf>
- Magne, A.R., Uso de residuos agroindustriales en forma de pellets para fines energéticos en zonas rurales de Bolivia., Tesis presentada en opción al grado de
-

- Máster en Energía Renovable en la Universidad Pública de Navarra, España, 2018. <https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/38656/Magne%20Sejas%20Angelica%20Rocio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Manals, E.M., Penedo, M., y Salas, D., Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal., Tecnología Química, Vol. XXXV, No. 2, 2015, pp. 179-192. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n1/rtq13118.pdf>
- Maradiaga, W.D., Wagner, A., Sette, C.R., Júnior, J.A., y Fernández, M., Producción de briquetas con residuos de cáscara de piñón manso (*Jatropha curcas*) y bagazo de caña de azúcar., Bosque, Vol. 38, No. 3, 2017, pp. 527 - 533. <https://www.scielo.cl/pdf/bosque/v38n3/art10.pdf>
- Mena, G.A., Estudio de viabilidad técnica y económica para la producción de Xilitol a partir del bagazo de caña de azúcar., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico en la Universidad de los Andes, Los Andes, Chile, 2020. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/44524/u830650.pdf?sequence=1>
- Mesa, M., y Río, M.A., Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar con el fin de generar nuevos usos., Tesis presentada en opción al título de Ingeniería en Diseño Industrial en el Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia, 2018. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/44524/u830650.pdf?sequence=1>
- Morales, R.A., Diseño y cálculo de una máquina peletizadora para la producción de alimento animal., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, 2019. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/ca1dc502-e835-43b9-a7a4-35fb96f60ae8/content>
- Muñoz, M., Producción de pellets combustibles a partir de residuos agrícolas de la cosecha de la caña de azúcar., Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de azúcar. Memoria Presentación de Resultados de Investigación Zafra 2016 – 2017, 2017. <https://cengicana.org/files/20220216112502554.pdf>
- Narvaez, B.A., Estudio comparativo del rendimiento de la producción de bioetanol mediante métodos de extracción de primera y segunda generación a partir de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2020. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/15511/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-68.pdf>
- Pinilla, J.C., Luengo, K., Lobo, F., Navarrete, M., y Navarrete, F., Normativas aplicables a la producción de pellet en Chile, Instituto Forestal, Documento de Divulgación N° 59, Sede Biobío, Chile, 2021. <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/31344/31344.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
-

- Pantoja, A.J., Cuatin, M.F., y Muñoz, D., Efecto del pretratamiento químico y enzimático en la deslignificación de biomasa agroindustrial típica del cauca., *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, Vol. 13, No. 1, 2015, pp. 45-53.
https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:v06U1yFvv_wJ:https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/371&cd=4&hl=es-419&ct=clnk&gl=cu&client=firefox-b-d
- Ponce, A., y Ruiz, A., Estudio de prefactibilidad para la implementación de una planta de producción de briquetas a partir de cáscara de cacao., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial en la Universidad de Lima, Lima, Perú, 2022.
https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/16765/Ponce-Adriazola_Estudio_de%20producci%c3%b3n%20de%20briquetas%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rubio, A.M., Galindo, P., Pérez, F.J., Ríos, P., Perdomo, L., Pérez, E., y Rubio, M.A., Estudio sobre el empleo de los residuos agrícolas cañeros como combustibles para la generación de electricidad en la industria azucarera cubana., Reporte tecnológico del Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Villa Clara, Cuba, 2019.
https://www.researchgate.net/publication/334248442_estudio_sobre_el_empleo_de_los_residuos_agricolas_ca%C3%B1eros_como_combustibles_para_la_generacion_de_electricidad_en_la_industria_azucarera_cubana
- Sierra, E., Gosset, G., y Martínez, A., Las biorrefinerías son plataformas sustentables y más limpias., *Biología en movimiento*, Vol. 27, año 7, 2021, pp. 8-14.
https://biotecmov.files.wordpress.com/2021/12/biotecmov-27e_q4n27-entb.pdf
- Silva, E.E., Escobar, J.C., García, J.A., y Barrera, J.C., Bioenergía y biorrefinerías para caña de azúcar y palma de aceite., *Palmas*, Vol. 37, No. Especial, 2016, pp. 119-136.
https://web.fedepalma.org/conferenciainternacional/wp-content/uploads/2022/09/M_2_13_-Bioenergia.pdf
- Solano, I., Aguilar, O., Domínguez, C. y Ramírez, G., Evaluación del rendimiento energético del bagazo de caña de un ingenio azucarero y su aprovechamiento mediante gasificación., *Iniciación Científica*, Vol. 6, No.1, 2020, pp. 30-35.
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/2608/3352>
- Teymnet, K.V., y Trejo, M.R., Pretratamientos de la biomasa para la producción de bioetanol., *Biología en movimiento*, Vol. 27, año 7, 2021, pp. 15-18.
https://biotecmov.files.wordpress.com/2021/12/biotecmov-27e_q4n27-entb.pdf
- Tinoco, R., y Serrano, L., Potencial de los residuos lignocelulósicos para impulsar el desarrollo sustentable., *Biología en movimiento*, Vol. 27, año 7, 2021, pp. 3-7.
https://biotecmov.files.wordpress.com/2021/12/biotecmov-27e_q4n27-entb.pdf
- Torres, D., Morales, S.P., y Quintero, J.C., Evaluación de pretratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos., *Revista chilena de ingeniería*, Vol. 25, No. 4, 2017, pp. 733-743. <https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v25n4/0718-3305-ingeniare-25-04-00733.pdf>
- Trujillo, G., García, K., Loya, H., Urina, C., Cepúlveda, D., y Castro, J., Instalación de una planta piloto experimental para la estandarización de pellets de rastrojo de maíz para su uso como combustible., Proyecto 220345, Programa de Estímulo a la
-

- investigación, desarrollo tecnológico e innovación, México, 2015. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13593/1/T-UCE-0017-0081-2017.pdf>
- UNEP., Technologies for Converting Waste Agricultural Biomass to Energy, United Nations Environmental Programme., Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology, Centre Osaka, Japón, 2013. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7614/WasteAgriculturalBiomassEST_Compndium.pdf
- Verdecia, D., Macías, I., y Gaskins, B.G., Estudio teórico de la combustión de pellets de biomasa procedente de la caña de azúcar., Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 21, No. 3, 2012, pp. 73-78. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v21n3/rcta12312.pdf>
- Waheed, A., Qureshi, K., Harijan, K., Rashid A, Abbas, T., Ahmen, A., Karim, S., & Yu, G., Insight into progress in pre-treatment of lignocellulosic biomass., Energy, No. 122, 2017, pp. 724-745. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544217300051>
- Zea, C.A., Soledispa, X.E., AyónI, G.I., y Toala, M.C., El abono elaborado del bagazo de caña de azúcar como alternativa para la generación de ingresos para los habitantes del sitio San Carlos., Polo del conocimiento, Vol. 4, No. 6, 2019, pp. 335-351. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7164344.pdf>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declararan que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Norlem Liaño Abascal. Análisis formal, conceptualización, primera redacción, investigación.
 - Dr.C. Luis Eduardo Guerra Rodríguez. Análisis formal, conceptualización, primera redacción, investigación.
 - Dra.C. Misdelki Pérez Colas. Análisis formal conceptualización, primera redacción, investigación.
 - Dr.Sc. Erenio González Suárez. Análisis formal, conceptualización, investigación, supervisión.
-