

Revalorización del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como residuo importante para la agroindustria

Revaluation of sugarcane bagasse (*Saccharum officinarum*) as an important residue for agro-industry

Carlos Rodrigo Jácome-Pilco¹
Universidad Estatal de Bolívar - Ecuador
cjacome@ueb.edu.ec

Roxana Mariuxi García-Culqui²
Universidad Estatal de Bolívar - Ecuador
roxgarcia @mailes.ueb.edu.ec

Lady Anabel Guevara-Narváez³
Universidad Estatal de Bolívar - Ecuador
laguevara@mailes.ueb.edu.ec

Tania Yadira Moreta-Guangasi⁴
Universidad Estatal de Bolívar - Ecuador
tanmoreta@mailes.ueb.edu.ec

doi.org/10.33386/593dp.2023.3.1661

V8-N3 (my-jun) 2023, pp. 134-148 | Recibido: 12 de enero de 2023 - Aceptado: 25 de febrero de 2023 (2 ronda rev.)

1 Doctor en Ciencias (Ph.D.) en la especialidad de Biotecnología. Profesor-investigador titular en la Universidad Estatal de Bolívar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9713-0228>

2 Estudiante de la carrera de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Estatal de Bolívar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0011-166X>

3 Estudiante de la carrera de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Estatal de Bolívar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8432-5739>

4 Estudiante de la carrera de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Estatal de Bolívar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0420-4874>

Cómo citar este artículo en norma APA:

Jácome-Pilco, C., García-Culqui, R., Guevara-Narváez, L., & Moreta-Guangasi T., (2023). Revalorización del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como residuo importante para la agroindustria. 593 Digital Publisher CEIT, 8(3), 134-148 <https://doi.org/10.33386/593dp.2023.3.1661>

Descargar para Mendeley y Zotero

RESUMEN

La caña de azúcar del género *Saccharum officinarum* se destina principalmente a la producción de azúcar, sin embargo, los residuos que se genera en las diversas etapas de producción es un problema a escala mundial debido al impacto ambiental, puesto que en varias industrias los desechos no son dispuestos adecuadamente, desaprovechando su potencial. Por tanto, el presente trabajo de revisión se enfoca en buscar mediante la revisión bibliográfica entre los años 2015 al 2022, alternativas para el aprovechamiento de los residuos de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), teniendo como criterios de inclusión a los trabajos que contengan información relevante al sector agroindustrial, de igual manera, los criterios de exclusión rechazaron a todos los artículos que no tengan accesibilidad al texto completo, así como su relación en otros idiomas diferentes del español e inglés, de esta manera se permitió mediante un enfoque cualitativo y bajo un nivel de investigación descriptivo establecer como resultados, que la revalorización de estos residuos puede generar nuevos productos utilizables cotidianamente y hacer uso de nuevas tecnologías. Además, los resultados indican que los principales usos que se dan a este residuo son para producción de energía como butanol y biogás, también para alimento de bovinos, así también, las cenizas del bagazo son ocupados como aditivos en la construcción, además es un material importante en las biorrefinerías y es usado como biofertilizante.

Palabras clave: bagazo; caña; azúcar; agroindustria; desechos

ABSTRACT

Sugarcane of the genus *Saccharum officinarum* is mainly used for sugar production, however, the waste generated in the various stages of production is a worldwide problem due to the environmental impact, since in several industries the waste is not properly disposed of, wasting its potential. Therefore, the present review work is focused on seeking through literature review between the years 2015 to 2022, alternatives for the utilization of sugarcane bagasse residues (*Saccharum officinarum*), having as inclusion criteria to the works containing relevant information to the agroindustrial sector, likewise, The exclusion criteria rejected all the articles that did not have accessibility to the full text, as well as their relation in languages other than Spanish and English, in this way it was possible through a qualitative approach and under a descriptive level of research to establish as results, that the revaluation of these wastes can generate new products that can be used on a daily basis and make use of new technologies. In addition, the results indicate that the main uses given to this residue are for energy production as butanol and biogas, also for cattle feed, also, bagasse ashes are used as additives in construction, it is also an important material in biorefineries and is used as biofertilizer.

Key words: bagasse; cane; sugar; agribusiness; waste

Introducción

La caña de azúcar pertenece a la familia gramíneas (*Poacea*) del género *Saccharum*, *officinarum*, siendo la más cultivada en los países tropicales, esta especie tiene un contenido alto de azúcar y un jugo espeso (Soares et al., 2020). El residuo que presenta la caña de azúcar al exprimir los tallos, tiene diversos usos, como la elaboración de papel, combustibles para generar vapor en calderas, la producción de etanol de segunda generación (De la torre et al., 2021).

La caña de azúcar se produce a nivel mundial por su interés en el mercado, abarcando una producción en el 2020 de 1,869,715,086 toneladas, dicha producción se concentra principalmente en el continente americano con un 54%, Asia con 39,2%, África 5,1% y Oceanía 1,7%, dentro de los 10 principales países destaca Brasil, India, China, Pakistán, Tailandia, México, Estados Unidos, Australia, Indonesia y Guatemala (FAOSTAT, 2020). Los desechos de esta planta en sus diferentes etapas de producción es una problemática a nivel mundial por su impacto ambiental, debido a no son dispuestos adecuadamente por las industrias, desaprovechando su potencial (Vargas & Pérez, 2018). Esto requiere de nuevas tecnologías para la transformación sostenible de biocombustibles, fibras, bio-productos, alimentos para animales, aditivos de construcción y biofertilizantes (Debernardi-Vázquez et al., 2021).

Como bien comercializado internacionalmente, el azúcar lleva un tiempo haciendo frente a la incertidumbre. Debido a esto, los países productores de caña de azúcar tienen un incentivo para crear un plan que mejore su competitividad. La diversificación de la industria a través del uso integral de la caña de azúcar como materia prima para crear derivados y subproductos ha sido incluida como un paso fundamental en esta estrategia.

Como es bien sabido, la ciencia se está convirtiendo en una herramienta esencial para el crecimiento de las fuerzas productivas de la sociedad y la mejora de la vida social en su conjunto, debido al aumento de la investigación

y a la reducción de los plazos para la aplicación práctica de los descubrimientos científicos.

El hecho de que la tecnología afecte cada vez más a las oportunidades empresariales es una de las características definitorias de los tiempos que corren. Dado que el avance tecnológico de la industria química también está asociado a la incertidumbre, es necesario pasar de la perspectiva tecnológica convencional, que no permitía el desarrollo, a la prospectiva tecnológica. Esta prospectiva tecnológica se fundará ineludiblemente en un examen multifacético y en profundidad de los factores de la empresa y de los avances tecnológicos, para lo cual deberá llevarse a cabo una prospectiva global, cualitativa y multifacética que cumpla el requisito de ser un instrumento para la acción.

Importante fuente de energía alternativa, la caña de azúcar tiene un gran potencial para producir subproductos de la industria azucarera. Estas características, junto con la necesidad de que resurjan las industrias del crudo y el refinado, exigen que se acelere la expansión diversificada del sector azucarero, incluso teniendo en cuenta las limitaciones actuales.

Se puede decir que las biorrefinerías son un modelo de procesos de producción más ecológicos, basados en el concepto de bioeconomía (Eixenberger et al., 2022). El bio-carbón, es empleado como enmienda para suelos agrícolas debido a que beneficia la conservación de nutrientes, mejora la estructura del suelo y; estimula las poblaciones microbianas (Pérez et al., 2021).

El objetivo de esta investigación es buscar mediante la revisión bibliográfica distintas alternativas para los residuos de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), importante para la agroindustria, estos pueden generar productos utilizados cotidianamente enfocados al uso de nuevas tecnologías y aprovechando la misma.

Método

La presente investigación está marcada bajo un enfoque de trabajo cualitativo y en un nivel de investigación descriptivo ya que el paradigma forma parte de la explicación de las variables de estudio para determinar las explicaciones de los nuevos usos del bagazo de caña cómo de residuos útiles en la agroindustria. El método que se aplica es revisiones sistemáticas de investigación cualitativa que se enfocan en analizar la literatura cualitativa.

Se presenta la siguiente tabla de las etapas de revisión sistémica para este estudio:

Tabla 1
Resumen de metodología empleada

Etapa	Descripción
Formulación de la pregunta de investigación	Se formuló la pregunta “¿Cuál es el potencial del bagazo de caña de azúcar como residuo importante para la agroindustria?”
Búsqueda de literatura	Se seleccionaron las bases de datos (por ejemplo, PubMed, Scopus) y las palabras clave (por ejemplo, “bagazo de caña de azúcar”, “residuo”, “agroindustria”) apropiadas para buscar artículos relevantes. También se revisaron las listas de referencias de los artículos encontrados para obtener más fuentes.
Selección de estudios	Se establecieron criterios de inclusión y exclusión (por ejemplo, idioma, fecha de publicación, tipo de estudio) para seleccionar los estudios más relevantes y de mayor calidad. Se seleccionaron un total de 37 estudios para su análisis.
Evaluación crítica de los estudios seleccionados	Se analizó y sintetizó la información de cada estudio incluido, identificando similitudes, diferencias y patrones en los resultados. Se extrajeron temas principales y se resumieron las conclusiones de cada estudio.
Síntesis y presentación de los resultados	Se presentaron los temas principales y las conclusiones de los estudios incluidos. Se realizó una discusión crítica sobre las implicaciones de los hallazgos y se identificaron las limitaciones de la revisión sistemática.
Conclusión	Se concluyó que el bagazo de caña de azúcar tiene un gran potencial como residuo importante para la agroindustria. Se discutieron posibles aplicaciones, beneficios y desafíos en su revalorización. Se sugirió la necesidad de más investigaciones para explorar completamente su potencial.

En cuanto a los descriptores de búsqueda y criterios utilizados fueron:

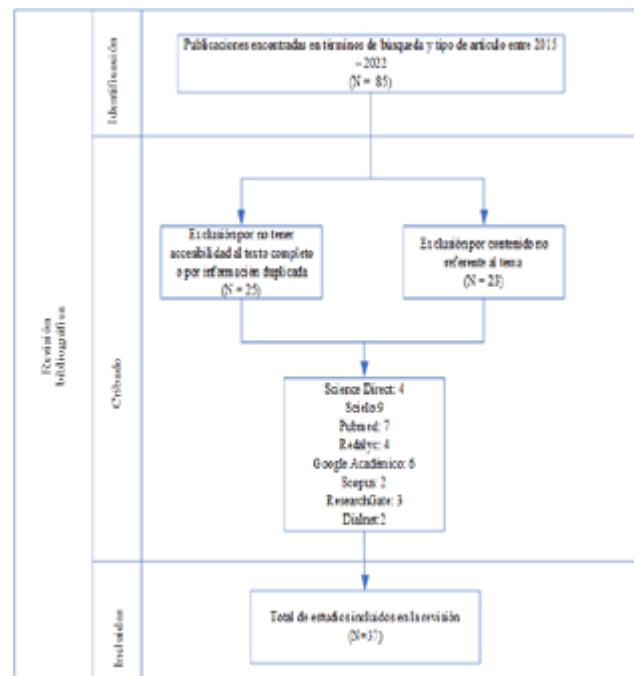
Se utilizaron las palabras clave “bagazo de caña de azúcar”, “*Saccharum officinarum*”, “residuo” y “agroindustria” en la búsqueda de literatura.

Se incluyeron estudios de investigación primaria (por ejemplo, estudios de caso, ensayos controlados aleatorios, estudios observacionales) y revisiones sistemáticas relacionadas con el tema.

Se excluyeron artículos que no abordaban específicamente el tema del bagazo de caña de azúcar como residuo importante para la agroindustria, artículos duplicados y artículos que no estaban disponibles en texto completo.

Se revisaron las listas de referencias de los artículos encontrados para obtener más fuentes relevantes.

Figura 1
Diagrama de selección de estudios presentes en el artículo de revisión



La presente figura muestra el proceso para la selección de artículos. Elaborado por (Jácome et al., 2023)

Resultados

Bagazo de caña de azúcar

El bagazo de caña de azúcar es un residuo que se genera en el proceso de producción de azúcar y alcohol. Aunque tradicionalmente se consideraba como un desperdicio, en la actualidad se ha reconocido su potencial como una fuente valiosa de materia prima para diversas aplicaciones en la agroindustria.

La composición nutricional de la caña de azúcar, según Lagos & Castro (2019), indica que contiene materia seca (MS) 26,2%, cenizas 6,2 a 6,4%, extracto etéreo (EE) 1,9%, extracto libre de nitrógeno (ELN) 56,4%, fibra cruda (FB) 27,9%, fibra en detergente neutro (FDN) 69%, fibra en detergente ácido (FDA) 40,1%, calcio (Ca) 0,2-0,5% y fósforo (P) 0,09,-0,14%. Por otro lado, Selim et al. (2022) indican que la composición nutricional del bagazo de caña de azúcar contiene materia seca (MS) $89.90\% \pm 4.6$ y de nutrientes en base a (MS%); proteína cruda (PC) 3.81 ± 0.07 , fibra cruda (FB) 37.89 ± 3.6 , fibra detergente neutro (FDN) 75.6 ± 3.7 , fibra detergente ácida (FDA) 58.8 ± 4.9 , extracto etéreo (EE) 0.50 ± 0.1 , contenido de ceniza 4.87 ± 0.07 .

La fibra cruda y las fibras en detergente neutro y ácido son los componentes principales del bagazo de caña de azúcar. Estas fibras son importantes porque pueden ser utilizadas como fuente de energía en la alimentación de animales, principalmente en la producción de ganado bovino, ovino y caprino. Además, su alto contenido de fibra los hace adecuados para ser utilizados como material de cama en la producción de aves y cerdos.

La proteína cruda presente en el bagazo de caña de azúcar puede ser aprovechada como fuente de proteína en la alimentación animal. En estudios realizados por Selim et al. (2022), se ha demostrado que se puede utilizar el bagazo de caña de azúcar como alimento para el ganado, y que su inclusión en la dieta puede mejorar la producción de leche y carne.

Por otro lado, el bagazo de caña de azúcar también puede ser utilizado como materia prima para la producción de biocombustibles. La fermentación del bagazo de caña de azúcar puede producir etanol y otros biocombustibles, que pueden ser utilizados como alternativas a los combustibles fósiles.

En conclusión, el bagazo de caña de azúcar es un residuo importante que tiene un gran potencial en la agroindustria. Su alto contenido de fibra y proteína lo hacen adecuado para ser utilizado como alimento para animales, mientras que su potencial como materia prima para la industria de los combustibles.

Saccharum officinarum

El *Saccharum officinarum*, también conocido como caña de azúcar, es una planta originaria del sudeste asiático, que se cultiva en todo el mundo por su alto contenido de sacarosa. Esta especie es ampliamente utilizada en la industria alimentaria para la producción de azúcar, sin embargo, su potencial va más allá de este uso tradicional.

El bagazo de caña de azúcar es un subproducto que se genera durante la producción de azúcar y alcohol. Según Saraswathi et al. (2019), contiene celulosa (38,4%), hemicelulosa (23,2%) y lignina (25%). Estos componentes hacen que el bagazo de caña de azúcar sea un material adecuado para su uso en la producción de biocombustibles. En particular, las cenizas de bagazo de caña de azúcar se pueden utilizar para producir butanol, que es un biocombustible que puede utilizarse en motores de gasolina sin necesidad de modificaciones en la infraestructura existente.

El butanol se produce a través de la fermentación acetona-butanol-etanol (ABE) por microorganismos fermentadores como *Clostridium spp.* (Anua et al., 2021). El uso de bagazo de caña de azúcar para producir butanol tiene la ventaja de ser una fuente de energía renovable, y su producción a partir de residuos agrícolas reduce la dependencia de los combustibles fósiles.

Además, el *Saccharum officinarum* tiene otras potencialidades en la industria alimentaria. Por ejemplo, se ha demostrado que el jugo de caña de azúcar tiene efectos beneficiosos sobre la salud humana, ya que es rico en antioxidantes, vitaminas y minerales (Dharmaraj et al., 2018). La caña de azúcar también puede ser utilizada como materia prima para la producción de ron, que es una bebida alcohólica muy popular en el Caribe y en América Latina.

En conclusión, el *Saccharum officinarum* es una especie con múltiples usos y potencialidades en la industria alimentaria y en la producción de biocombustibles. Su bagazo es un subproducto valioso que puede ser utilizado como materia prima en la producción de biocombustibles como el butanol, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles. Además, su jugo es una fuente importante de antioxidantes, vitaminas y minerales, y puede ser utilizado en la producción de ron y otras bebidas alcohólicas. Por lo tanto, se debe seguir investigando el potencial de esta especie y sus subproductos para su uso sostenible en la agroindustria.

Saccharum officinarum y la Producción de energía Butanol

El bagazo de caña de azúcar contiene celulosa (38,4%), hemicelulosa (23,2%) y lignina (25%), actualmente se usa cenizas de bagazo de caña de azúcar para producir butanol utilizado como biocombustible debido a que puede utilizarse en motores a gasolina y no requiere modificaciones en la infraestructura (Saraswathi et al., 2019). El bio-butanol es formado por microbios fermentadores en fermentación acetona-butanol-etanol (ABE); el butanol suele ser formado por *Clostridium spp.* como *C. acetobutylicum*, *C. saccharobutylicum* y *C. beijerinckii* (Anua et al., 2021).

Residuo de bagazo de caña en la industria

El uso de residuos agrícolas para producir biocombustibles es una alternativa prometedora para reducir la dependencia de los combustibles fósiles. En el caso de la caña de azúcar, el bagazo es un subproducto que se puede utilizar para producir

bio-butanol. El bio-butanol es un biocombustible que se puede utilizar como alternativa a la gasolina en motores de combustión interna.

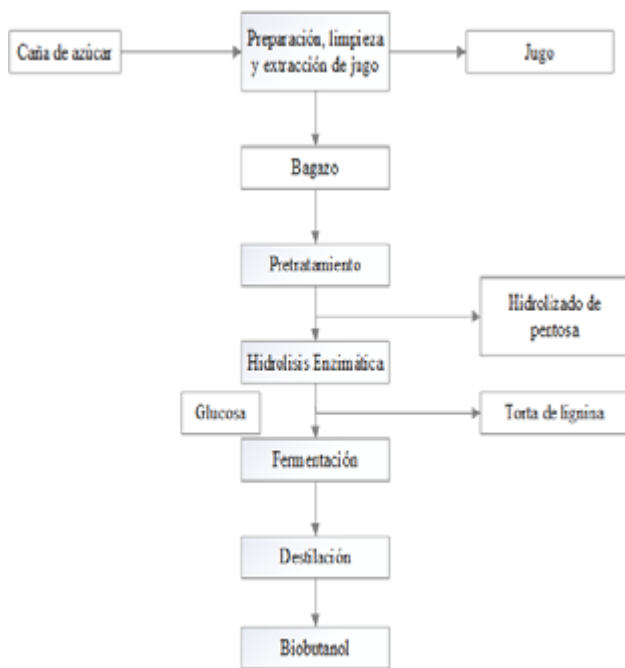
Jiménez et al. (2021) llevaron a cabo un estudio en el que utilizaron hidrolizado de hemicelulosa de bagazo no detoxificado (SBHH) alimentado por pulsos a la fermentación de la melaza. Las células inmovilizadas se alimentaron con SBHH no diluido y suplementado con melaza, y la xilosa derivada del SBHH (50% azúcares) para producir bio-butanol.

En la Figura 2 del estudio se considera la adición de una destilería, para una planta con exceso de residuo de bagazo de caña de azúcar, el cual pasó por un pretratamiento que consistió en el fraccionamiento de la biomasa pasando por pasos como molienda, agua caliente líquida y microondas por *Clostridium beijerinckii* NCIMB. En este proceso, se llevaron a cabo las siguientes etapas: hidrólisis enzimática, fermentación y destilación, obteniendo bio-butanol. Morales-Zamora et al. (2021) obtuvieron 13,68 g/L en la etapa del hidrolizado por cada 100 g de bagazo, logrando un rendimiento final de 6,86 g/L de butanol (Anua et al., 2021).

La producción de bio-butanol a partir de residuos de caña de azúcar tiene la ventaja de ser una fuente de energía renovable y reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Además, la producción de bio-butanol a partir de residuos agrícolas también tiene beneficios ambientales al reducir la cantidad de residuos que se destinan a vertederos y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

La producción de bio-butanol a partir de residuos de caña de azúcar es una alternativa interesante para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y aprovechar los subproductos de la industria azucarera. Los estudios realizados demuestran que es posible obtener bio-butanol con un rendimiento aceptable a partir del bagazo de caña de azúcar, lo que abre nuevas posibilidades para el desarrollo de biocombustibles sostenibles.

Figura 2
Diagrama de proceso de una destilería para la producción de Bio-butanol



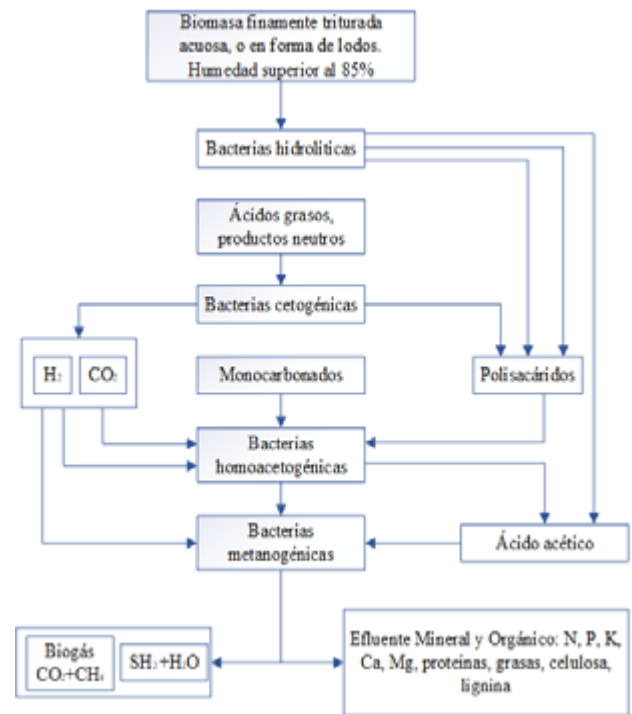
Fuente: (Silva-Lora et al., 2015)

Biogás

El biogás producido a partir de residuos orgánicos, compuestos principalmente de celulosa son la fuente de los biocombustibles de segunda generación (Paredes-Cervantes et al., 2020). Los residuos de la producción de los ingenios de azúcar y alcohol es la torta de filtración, compuesta por 67% agua, un 11,6% materia orgánica y 32,9% de otros sólidos; que puede usarse para la producción de biogás (Pavan et al., 2021).

En la Figura 2 se observan las tres fases tróficas involucradas en el proceso biológico para la obtención de metano. La primera etapa es la hidrólisis, interviniendo las cepas bacterianas hidrolíticas que degradan las macromoléculas orgánicas; la segunda etapa la acidogénesis, donde las bacterias acetogénicas y homoacetogénicas producen ácido acético, hidrogeno y dióxido de carbono, a partir del sustrato hidrolizado y la última etapa metanogénesis donde los productos obtenidos en la segunda etapa son convertidos en metano (Mamani et al., 2021).

Figura 3
Diagrama de proceso de producción de Biogás



Fuente: (Mamani et al., 2021)

Bagazo de caña de azúcar como residuo importante para la agroindustria

El bagazo de caña de azúcar es un residuo que se genera durante el procesamiento de la caña de azúcar para la producción de azúcar. Este residuo es una fuente de fibra con alto valor energético, pero debido a la presencia de compuestos como la lignina y la hemicelulosa, su digestibilidad es baja, lo que limita su uso como alimento para el ganado. Para poder utilizar el bagazo de caña de azúcar como materia prima, es necesario realizar un pretratamiento que permita solubilizar parcialmente la hemicelulosa y hacerla más digestible. Este pretratamiento se conoce como caña hidrolizada y se realiza mediante el uso de compuestos químicos. Además, los restos del bagazo de caña de azúcar son una importante fuente de nutrientes para la agricultura, en particular el potasio y el nitrógeno. Estos restos se pueden utilizar para la elaboración de compost y biofertilizantes, lo que contribuye a mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos y a reducir los costos de producción. En este artículo se profundizará en los detalles del pretratamiento

y el uso del bagazo de caña de azúcar en la agricultura y la alimentación del ganado.

La lignina y hemicelulosa son compuestos del bagazo de la caña de azúcar, estas llegan a crear una barrera que no permite la digestión de carbohidratos, tiene como consecuencia que es poco digerible, si desea utilizar como materia prima debe ser preparada (Chen et al., 2019). El forraje de la caña de azúcar para ganado llega a hacer un suministro de baja calidad, llegando a ser abundante en las épocas de escases, por si esta no tiene un costo muy elevado, al contrario, es económico como alimento (Molavian et al., 2020)

El bagazo es una fuente alta de fibra, aportando un valor energético, pero como se mencionó anteriormente posee baja digestibilidad aproximadamente el 25 %; al añadirlo directamente, sin ningún tipo de pretratamiento provocaría en el animal una sensación de llenado, dando como consecuencia que para poder digerir esa ingesta debe gastar más energía (Lagos-Burbano & Castro-Rincón, 2019).

Con lo antes mencionado el bagazo de caña de azúcar necesita de un pretratamiento para que pueda ser utilizado como alimento y sea digerible, para ello es necesario picar este residuo y tratar con compuestos químicos para que la hemicelulosa sea parcialmente solubilizada, al recibir este tratamiento se conoce como caña hidrolizada (Lagos-Burbano & Castro-Rincón, 2019). El pretratamiento para 1 tn de bagazo consiste en picar el bagazo y mezclar con soluciones deslignificantes diluido en 70lt de H₂O, luego de un periodo de 24h se agrega los quelatos 50 ml/tn ,y 1L/tn microorganismos benéficos (Reyes et al., 2020).

En cuanto a la agricultura. los restos del bagazo de caña de azúcar, tienen componentes importantes como el Potasio (K), Nitrógeno (N) entre otros nutrientes que se colocan para la elaboración de compost, con el fin de ayudar a los cultivos orgánicos (Legua-Cárdenas et al., 2021). Los agricultores sostienen que los biofertilizantes son importantes porque incrementa el rendimiento, la calidad de los productos y sustituye fertilizantes minerales

para disminuir costos de producción (Volverás-Mambuscay et al., 2020). Según (Arias et al., 2021): El principal componente de la ceniza es el Dióxido de Silicio , con alto contenido de Fosforo (P). En la agricultura, las cenizas tienen un parámetro de rendimiento y crecimiento de las plantas (*Lactuca sativa L.*) plantadas en ambientes controladas y en condiciones organológico (Arias-Cedeño et al., 2021, p. 458).

Bagazo de caña de azúcar como aditivos para la construcción y la industria

La producción de azúcar y etanol conlleva la generación de subproductos como las cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBCA), las cuales son empleadas como fertilizantes o eliminadas en fuentes hídricas, afectando negativamente al medio ambiente. Sin embargo, estas cenizas pueden ser reutilizadas de manera útil, por ejemplo, como material puzolánico en la construcción o para mejorar las propiedades mecánicas del cemento Portland. Además, los residuos de caña de azúcar ofrecen nuevas oportunidades para la agroindustria, como la elaboración de abonos orgánicos y la generación de energía eléctrica, promoviendo el desarrollo sustentable de las zonas rurales. En este sentido, el uso sostenible de estos subproductos agroindustriales es una alternativa para reducir el impacto ambiental y contribuir al desarrollo de la economía circular.

En la industria del azúcar y el etanol, un subproducto generado son las cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBCA), estas se utilizan como fertilizantes o simplemente las eliminan en fuentes hídricas y esto ha generado una preocupación en el medio ambiente (Qing et al., 2018). La fase de trituración produce bagazo usado para la ignición en los hornos de producción de etanol, así también para la producción de energía, por tanto, la ceniza generada en el proceso de producción de azúcar es un excedente altamente útil (Izquierdo et al., 2019).

La calcinación del bagazo de caña de azúcar genera cenizas de bagazo de caña de azúcar, un material abundantemente disponible y rico en sílice, afectando positivamente al cemento Portland mejorando sus propiedades mecánicas,

durabilidad, reología, calor liberado durante la hidratación (Cordeiro et al., 2019). Los desechos de caña de azúcar muestran las características de favorecer como material puzolánico en la construcción, por tanto, las CBCA calcinada a temperaturas entre 800 – 1000 °C mejora a la alta actividad puzolánica (Farfán & Pastor, 2018)

Composición química CBC

En el estudio realizado por Izquierdo et al., (2019) realiza una comparación con distintos autores sobre un compuesto específico llamado Sílice donde muestra que los trabajos de (Vidal et al., 2014) y (Ali et al., 2017) tienen una diferencia mínima del porcentaje de CBC 67.05% y 72.0% respectivamente.

Nuevas oportunidades para el uso de residuos de caña de azúcar agroindustriales (biomateriales alternativos)

Los mercados de biocombustibles se ven en la necesidad de expandirse debido a la futura demanda de los biocombustibles, debido a la necesidad de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y al mismo tiempo reutilizan de manera sostenible la materia prima de cada país (Mokomele et al., 2018).

Los residuos de caña de azúcar pueden ser ampliamente utilizados en la agroindustria, ofreciendo nuevas alternativas a sus usos; entre las cuales se encuentra la elaboración de abonos orgánicos o para la generación de energía eléctrica. En el primer punto, para la elaboración de abonos más conocidos como los vermicompostas que es la mezcla de diversos estiércoles de animales. El bagazo de la caña de azúcar tiene mayor productividad de biomasa, misma que es aprovechable en la generación de electricidad, de esa manera ayuda al desarrollo sustentable de los pueblos rural (Paz, 2022)

Residuos de la industria azucarera enfocado a biorrefinerías

La biorrefinería es una alternativa sostenible para la industria azucarera, que permite utilizar integralmente la caña de azúcar y sus residuos como fuente de energía y productos

químicos relacionados al biocombustible. La lignocelulosa es una materia prima clave en las biorrefinerías, que se encuentra en las fracciones químicas primarias de la hemicelulosa/poliosas, el polímero de glucosa y la lignina. El bagazo de caña de azúcar es un residuo importante en la producción de etanol de segunda generación, que puede ser utilizado para generar electricidad y calor a través de la generación combinada de calor y energía. Los métodos de pretratamiento, como el pretratamiento físico, químico y biológico, son importantes en el procesamiento de la biomasa lignocelulósica para producir biocombustibles y productos químicos en una biorrefinería. La trituración y el pretratamiento químico son métodos comunes que mejoran la tasa de sacarificación y el rendimiento. Por otro lado, el pretratamiento biológico implica el uso de enzimas o microbios para deslignificar o hidrolizar la biomasa.

La industria azucarera tiene potencial para transformarse en una biorrefinería que emplee integralmente la caña de azúcar y sus residuos como fuente de energía, productos químicos relacionados al biocombustible (Armas et al., 2019). Se producen alrededor de 264 kg de bagazo (contenido de humedad del 50%) por tonelada de caña de azúcar, que se puede utilizar para generar electricidad y calor a través de la generación combinada de calor y energía. (Alemán et al., 2019).

Las materias industriales a gran escala de la materia prima lignocelulosa o material alimentación es muy importante para las biorrefinerías estos se encuentran las fracciones químicos primarios:

Hemicelulosa/poliosas, polímero de glucosa, lignina polímero de fenoles (Peña & López, 2020). Los materiales lignocelulósicos están disponibles para producir biocombustibles, los azúcares que liberan estos materiales se pueden convertir en combustibles y productos químicos en una biorrefinería (Chundawat et al., 2020).

La biorrefinería radica en la evolución sostenible de la biomasa, el uso del bagazo de caña para producir etanol de segunda generación está entablando una realidad

industrial. Una forma potencial de mejorar la economía del proceso de etanol 2 G es el procesamiento de la biomasa lignocelulósica por la ruta bioquímica, basada en un proceso de pretratamiento seguido de hidrólisis enzimática y fermentación alcohólica (Freitas et al., 2021).

Por lo tanto, los métodos de pretratamiento se clasifican generalmente en cuatro categorías: pretratamiento físico, químico, biológico y fisicoquímico. La trituración es el pretratamiento físico más común, en el que la SCB se muele hasta alcanzar el tamaño de partícula deseado. La molienda ayuda a reducir el tamaño de las partículas y también afecta a la cristalinidad de la celulosa (Konde et al., 2021).

El efecto combinado del aumento de la superficie y la reducción de la cristalinidad facilita a su vez una mayor hidrólisis enzimática, mejorando así la tasa de sacarificación y el rendimiento. Esto, a su vez, facilita una mayor unión de las enzimas a las fracciones de celulosa de la biomasa, mejorando así la tasa de sacarificación y el rendimiento (Konde et al., 2021).

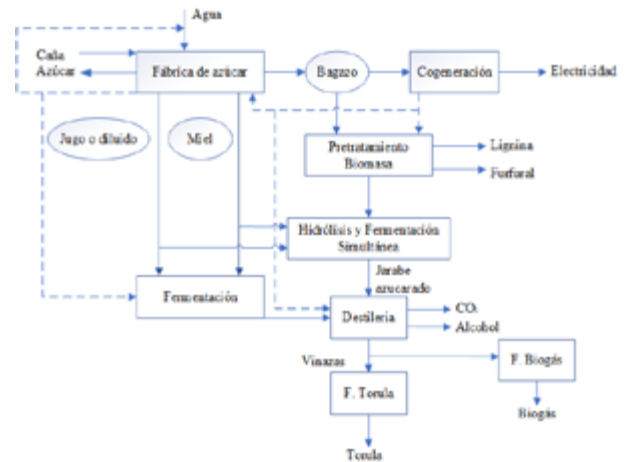
El pretratamiento químico suele utilizar un ácido o para hidrolizar o deslignificar la biomasa, se usa junto con agua caliente comprimida o vapor saturado estos suelen acabar produciendo inhibidores de la fermentación como el 5-hidroximetilfurfural, el ácido acético, el ácido fórmico o el furfural, en condiciones ácidas, los lodos son sometidos a pretratamientos químicos y deben ser neutralizados antes de la generación de biogás (Konde et al., 2021).

El pretratamiento biológico implica el uso de enzimas o microbios para deslignificar o hidrolizar la SCB, los hongos de podredumbre parda producen enzimas lignolíticas extracelulares como las peroxidasas de lignina o las la casas que ayudan a la deslignificación (Konde et al., 2021).

La Figura 4 presenta un esquema de biorrefinería a partir del uso de la caña, donde se obtiene diferentes productos como jugo para fabricar etanol y azúcar, bagazo para la producción de energía, biogás, entre otros. Los procesos de conversión de biomasa que

mayormente intervienen son la fermentación, gasificación, evaporación, hidrólisis, destilación, pirolisis, catálisis y secado (Peña & López, 2020).

Figura 4
Biorrefinería para la obtención de productos derivados de biomasa de la caña de azúcar



Fuente: (Peña & López, 2020)

Conclusiones

Se puede afirmar que el bagazo de caña de azúcar, uno de los subproductos de la producción de azúcar y etanol, tiene un gran potencial para la revalorización en la agroindustria. Un estudio de revisión bibliográfica sobre este subproducto podría proporcionar información valiosa sobre los diferentes usos y métodos de pretratamiento para mejorar su digestibilidad. Además, se podrían identificar los obstáculos y oportunidades para su uso en diferentes procesos de la agroindustria.

El bagazo de caña de azúcar puede utilizarse como fuente de energía y fertilizante, pero también puede ser utilizado para la producción de abonos orgánicos y biocombustibles. Además, cuando se combina con otros elementos de origen agrícola, puede utilizarse para la elaboración de polímeros biodegradables, lo que sería beneficioso para el medio ambiente. Por otro lado, su uso en la alimentación animal también puede ser beneficioso, aunque se requieren aditivos para compensar las deficiencias nutricionales que presenta.

En general, se puede concluir que la revalorización del bagazo de caña de azúcar es un tema importante en la agroindustria. La realización de estudios de revisión bibliográfica sobre este subproducto puede ser una herramienta valiosa para identificar oportunidades para su uso y desarrollar estrategias para maximizar su valor. Además, su uso puede contribuir a la sostenibilidad ambiental y económica de la industria de la caña de azúcar.

Los principales hallazgos de la revisión bibliográfica mencionan que es un residuo tradicionalmente usado como combustible tales como bioetanol, biogás o biomasa energética debido a los procesos biotecnológicos a los que se somete, también se relaciona con la producción de abonos orgánicos, alimento para animales y a la construcción mediante los biomateriales esto se da gracias a los pretratamientos sometidos. En el cultivo de la caña de azúcar *Saccharum officinarum* es una planta productora de azúcares, mieles y producir de derivados, lo que permite una aplicación en las diversas áreas como la ciencia, biología, química y física para el sector de los alimentos, energías renovables, productividad agrícola, sector pecuario a nivel de ganadería y otras especies. Las cenizas de bagazo de caña de azúcar tienen una elevada actividad puzolánica, debido a su alto contenido de sílice 70%, siendo un mineral adicionado en el cemento Portland. Por lo tanto, es recomendable innovar en el aprovechamiento y uso de los residuos de caña de azúcar debido a que fomentan el manejo sostenible y permiten la diversificación de productos. Se sugiere realizar mayores investigaciones en el área alimenticia para animales como bovinos, para que tenga una mayor digestibilidad. Para la utilización del bagazo como un fertilizante, se sugiere realizar campañas de concientización para cuidado del ambiente y de esa manera evitar que el bagazo se convierta en una problemática para los productores de azúcar.

Discusión

La caña de azúcar fue una materia prima importante en la industria de la producción de azúcar y etanol, y uno de sus subproductos era el

bagazo de caña de azúcar, que se había convertido en un residuo significativo. A pesar de que se había utilizado como fuente de energía y fertilizante, el bagazo de caña de azúcar aún tenía potencial para una mayor revalorización en la agroindustria.

Un estudio de revisión bibliográfica sobre la revalorización del bagazo de caña de azúcar podría haber proporcionado información importantesobre las formas en que este subproducto podría haber sido utilizado en la agroindustria. En este artículo, se discuten algunos de los posibles beneficios de llevar a cabo este tipo de estudio.

En primer lugar, un estudio de revisión bibliográfica habría permitido identificar los diferentes usos del bagazo de caña de azúcar en la agroindustria. Se podría haber analizado la información disponible sobre la composición química del bagazo y su potencial como fuente de nutrientes para la producción de abonos orgánicos. Además, se podría haber evaluado la posibilidad de utilizar el bagazo de caña de azúcar para la generación de energía eléctrica y para la producción de biocombustibles, lo que habría sido beneficioso para el medio ambiente.

En segundo lugar, un estudio de revisión bibliográfica habría permitido identificar los métodos de pretratamiento más efectivos para mejorar la digestibilidad del bagazo de caña de azúcar. Como se mencionó anteriormente, el bagazo de caña de azúcar tenía una baja digestibilidad debido a su alto contenido de lignina y hemicelulosa. Por lo tanto, se necesitaban pretratamientos para mejorar su digestibilidad y aumentar su valor nutricional como alimento para el ganado.

En tercer lugar, un estudio de revisión bibliográfica habría permitido identificar los obstáculos y oportunidades para la revalorización del bagazo de caña de azúcar. Se podría haber evaluado la viabilidad económica de utilizar el bagazo de caña de azúcar en diferentes procesos de la agroindustria y se podría haber identificado cualquier restricción o regulación que afectara su uso.

Un estudio de revisión bibliográfica sobre la revalorización del bagazo de caña de azúcar en la agroindustria podría haber proporcionado información importante sobre los diferentes usos, métodos de pretratamiento y obstáculos para su uso. Este tipo de estudio podría haber sido útil para identificar oportunidades para la revalorización del bagazo de caña de azúcar y para desarrollar estrategias para maximizar su valor en la agroindustria.

En la actualidad el cuidado del medio ambiente ha tenido mayor atención y el aporte a la conservación del planeta, mediante el uso de nuevas tecnologías. El bagazo de caña de azúcar es una fuente de biomasa (70,5% de la misma), y como tiene mucha celulosa (49,5%) y hemicelulosa (21,2%), podría utilizarse en procesos biotecnológicos. Por lo que se convierte en un material importante al combinarse con otros elementos de origen agrícola, para la elaboración de polímeros biodegradables (Selim et al., 2022).

Como la panela y el azúcar son tan baratos, algunas zonas han optado por diversificar la comercialización de la caña de azúcar produciendo ensilado para alimentación animal a edades de corte tempranas. Se trata de un cambio significativo para el sector.

En relación con el sector bovino, se ha analizado un estudio del ensilado de caña de azúcar en rumiantes, comparándolo con el ensilado de maíz en una proporción de 70:30 de concentrado en hembras Holstein-Friesian desde el destete hasta los 470 días de edad (Molavian et al., 2020).

En comparación con los animales alimentados con ensilado de maíz, los alimentados con ensilado de caña de azúcar presentaban mejor condición corporal y conversión alimenticia, pero no se identificaron diferencias en las ganancias diarias de peso. Aunque la caña de azúcar tiene un alto rendimiento por unidad de tierra y sus deficiencias nutricionales pueden compensarse añadiendo aditivos, sigue presentando déficits en el momento del ensilado y puede perder hasta un 30% de materia seca durante el almacenamiento (Reyes et al., 2020).

Cuando al ensilado de caña integral molida se le añadió estiércol porcino fresco que había sido sometido a fermentación en una proporción del 40%, los indicadores de calidad mejoraron, alcanzando niveles del 33,2% de materia seca, 7,45% de proteína total, 2,63% de grasa total y 8,44% de cenizas totales, frente a otras tasas de inclusión del 20% y el 30% de estiércol porcino (Arias et al., 2021).

En cuanto a la industria de combustibles se puede hacer la discusión sobre que la industria azucarera tiene potencial para transformarse en una biorrefinería que emplee integralmente la caña de azúcar y sus residuos como fuente de energía, productos químicos relacionados al biocombustible (Armas et al., 2019). Se producen alrededor de 264 kg de bagazo (contenido de humedad del 50%) por tonelada de caña de azúcar, que se puede utilizar para generar electricidad y calor a través de la generación combinada de calor y energía. (Alemán et al., 2019).

Las materias industriales a gran escala de la materia prima lignocelulosa o material alimentación es muy importante para las biorrefinerías estos se encuentran las fracciones químicos primarios:

Hemicelulosa/poliosas, polímero de glucosa, lignina polímero de fenoles (Peña & López, 2020). Los materiales lignocelulósicos están disponibles para producir biocombustibles, los azúcares que liberan estos materiales se pueden convertir en combustibles y productos químicos en una biorrefinería (Chundawat et al., 2020).

Referencias bibliográficas

Alemán, R., Domínguez, J., Bravo, C., Iza, E., Reyes, H., Freile, J., Alba, J., Marino, E., & Gutiérrez, E. (2019). Variación de algunos indicadores fisiológicos y componentes del rendimiento con la fertilización orgánica en la variedad de caña de azúcar cristalina en las condiciones de la Amazonía ecuatoriana. *Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 2(1), 16-24. <https://doi.org/10.46380/rias.v2i1.34>

Ali, N., Mohd, S., Hadipramana, J., & Abdul, S.

- (2017). Potential Mixture of POFA and SCBA as Cement Replacement in Concrete – A Review. *MATEC*, 103, 8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20171030100>
- Anua, A., Kumar, A., Kumarc, V., & Singhad, B. (2021). Cellulosic and hemicellulosic fractions of sugarcane bagasse: Potential, challenges and future perspective. *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 564-582. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.175>
- Arias-Cedeño, Q., López-Sánchez, R., Sainz-Rosales, L., Verdecia-Casanova, M., & Eichler-Löbermann, B. (2021). Potencial fertilizante de cenizas de bagazo de caña de azúcar de industrias azucareras. *Revista Cubana de Química*, 33(3), 452-466.
- Armas, A., Morales, M., Albernas, Y., & Gonzáles, E. (2019). Proyección de una industria azucarera para transformarse en una biorrefinería a partir de biocombustibles de segunda y tercera generación. *Tecnología Química*, 39(3), 489-507.
- Chen, W., Zhang, S., Li, Y., Wu, H., Meng, Q., & Zhou, Z. (2019). Steam-exploded sugarcane bagasse as a potential beef cattle feedstock: Effects of different pretreatment conditions. *Journal of animal science*, 97(6), 2414-2423. <https://doi.org/10.1093/jas/skz127>
- Chundawat, S., Pal, R., Zhao, C., Campbell, T., Teymouri, F., Videto, J., Nielson, C., Wieferich, B., Sousa, L., Dale, B., Balan, V., Aguado, J., Chipkar, S., Burke, E., & Ong, R. (2020). Ammonia fiber expansion (AFEX) pretreatment of lignocellulosic biomass. *Journal of visualized experiments*, 1-8. <https://doi.org/10.3791/57488>
- Cordeiro, G. C., Andreão, P. V., & Tavares, L. M. (2019). Pozzolanic properties of ultrafine sugar cane bagasse ash produced by controlled burning. *Heliyon*, 5(10), e02566. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02566>
- De la torre, L., Tavera, M., & Mena, X. (2021). Desarrollo Sustentable y Aprovechamiento del Residuo de la Caña de Azúcar. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 7(1), 12-26. <https://www.remai.ipn.mx/index.php/REMAI/article/view/79/75>
- Debernardi-Vázquez, T., Aguilar-Rivera, N., & Núñez-Pastrana, R. (2021). Composting of Byproducts from the Orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) and Sugarcane (*Saccharum* spp. Hybrids). *Investigación e ingeniería*, 40(3), 81-88. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v40n3.82877>
- Eixenberger, D., Carballo-Arce, A., Vega-Baudrit, J., Trimino-Vazquez, H., Villegas-Peñaranda, L., Stöbener, A., Aguilar, F., Mora-Villalobos, J., Sandoval-Barrantes, M., & Andreas, P. (2022). Tropical agroindustrial biowaste revalorization through integrative biorefineries—Review part II: pineapple, sugarcane and banana by products in Costa Rica. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02721-9>
- FAOSTAT. (2020). *FAO. Cultivos y productos de ganadería*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Farfán, M., & Pastor, H. (2018). Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto. *UCV-HACER. Revista de Investigación y Cultura*, 7(3), 25-31. <https://doi.org/10.18050/RevUCVHACER.v7n3a2>
- Freitas, J., Bilatto, S., Squinca, P., Pinto, A., Brondi, M., Bondancia, T., Batista, G., Klaic, R., & Farinas, C. (2021). Sugarcane biorefineries: Potential opportunities towards shifting from wastes to products. *Cultivos y Productos Industriales*, 172(15). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02566>

- org/10.1016/j.indcrop.2021.114057
- Izquierdo, J., Álvarez, M., & Rojas, M. (2019). Uso de la ceniza de bagazo de caña (CBC) como remplazo parcial del cemento Portland-caso Colombia. *IBRACON*, 1-15.
- Jiménez, S., Matias, G., Chukwuemeka, T., Maciel, R., & Pinto, A. (2021). Three-stage repeated-batch immobilized cell fermentation to produce butanol from non-detoxified sugarcane bagasse hemicellulose hydrolysates. *Bioresource Technology*, 321, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124504>
- Konde, K., Nagaranjan, S., Kumar, V., Patil, S., & Ranade, V. (2021). Sugarcane bagasse based biorefineries in India: Potential and challenges. *Sustainable Energy Fuels*, 5, 52-78. <https://doi.org/10.1039/D0SE01332C>
- Lagos-Burbano, E., & Castro-Rincón, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 30(3), 917-934. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.34668>
- Legua-Cárdenas, J., Nunja-García, J., Caro-Soto, F., & Cruz-Nieto, D. (2021). Efecto de compost elaborado con subproductos de la caña de azúcar, para obtener mayor rendimiento en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Polo del Conocimiento*, 6(8), 1-14. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i8>
- Mamani, J., Llumipanta, F., Ramos, S., Rea, J., Alucho, J., Santos, D., Llanos, F., & Jácome, C. (2021). Sistemas de producción de biogás fundamento, técnicas de mejora, ventajas y desventajas. *Agroindustrial Science*, 11(2), 239-247. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.14>
- Mokomele, T., da Costa, L., Balan, V., Van Rensburg, E., Dale, B., & Görgens, J. (2018). Ethanol production potential from AFEX™ and steam-exploded sugarcane residues for sugarcane biorefineries. *Biotechnol Biofuels*, 11(127). <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1130-z>.
- Molavian, M., Ghorbani, G., Rafiee, H., & Beauchemin, K. (2020). Substitution of wheat straw with sugarcane bagasse in low-forage diets fed to mid-lactation dairy cow: Milk production, digestibility and chewing behavior. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 8034-8047. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18499>
- Morales-Zamora, M., Mesa-Garriga, L., Ley-Chong, N., de Armas, A., Acosta-Martinez, D., & González-Suárez, E. (2021). Estudios previo inversionistas para la producción de furfuraletanol y tableros a partir de bagazo de caña de azúcar. *ION*, 34(2), 17-29. <https://doi.org/10.18273/revion.v34n2-2021002>
- Paredes-Cervantes, S., Barahona-Pérez, L., Barroso-Tanoira, F., & Ponce-Marbán, D. (2020). Biocombustibles y su potencial en el mercado energético mexicano. *Revista de Economía*, 37(94), 35-56. <https://doi.org/10.33937/reveco.2020.128>
- Pavan, M., Ramos, D., Soares, M., Barufi, C., & Carvalho, M. (2021). Barriers to broaden the electricity production from biomass and biogas in Brazil. *Future of Energy-efficient Operations and Production Systems*, 32. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20210064>
- Paz Paredes, C. E. (2022). *Diseño de una central termoeléctrica de biomasa para Lambayeque, utilizando residuos agrícolas como el bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz.* <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10364>
- Peña, S., & López, J. (2020). Desarrollo sostenible y oportunidad de aprendizaje de las biorrefinerías: Una alternativa de la biomasa. *Revista de Ciencias Sociales*, 26(2), 401-413.

- Pérez, G., Hidalgo, C., Etchevers, J., Jong, B., Salgado, S., Valtierra, E., & López, M. (2021). Evaluación de biocarbón de caña de azúcar en el desarrollo de *Pinus greggii* Engelm. Ex Parl. En condiciones de vivero. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-9. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.1343>
- Qing, X., Tao, J., San-Ji, G., Zhengxian, Y., & Nengsen, W. (2018). Characteristics and applications of sugar cane bagasse ash waste in cementitious materials. *Materials*, 12(1), 1-19. <https://doi.org/10.3390/ma12010039>
- Reyes-Portillo, K. A., Soto-Simental, S., Hernández-Sánchez, H., Quintero-Lira, A., & Piloni-Martini, J. (2020). Alimentos funcionales a partir de calostro bovino. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 6(12), Art. 12. <https://doi.org/10.29057/icap.v6i12.5924>
- Saraswathi, N., Kit, L., Hui, C., Ahmad, H., Bin, A., Boon, K., & Huang, M. (2019). Biobutanol production from sugarcane bagasse by *Clostridium beijerinckii* strains. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 67(5), 1-7. <https://doi.org/10.1002/bab.1865>
- Selim, A., Hasan, N., Rahman, A., Rahman, M., Islam, R., Bostami, R., Islam, S., & Tedeschi, L. (2022). Nutrient content and in vitro degradation study of some unconventional feed resources of Bangladesh. *Heliyon*, 8(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09496>
- Silva-Lora, E., Escobar-Palacios, J., Vargas-Nuncira, D., Martínez-Reyes, A., & Almazán del Olmo, O. (2015). Evaluación energética de la integración del proceso de obtención de biobutanol en una destilería autónoma. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 49(3), 47-50.
- Soares, I., Santos, N., João, F., Lima, M., Freitas, L., Borges, J., & Silva, R. (2020). Analysis of physical-chemical parameters and centesimal composition of sugar cane bagasse flour (*Saccharum officinarum* L. *Research, Society and Development*, 9(7), 1-14. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4385>
- Vargas, Y., & Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiental. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Vidal, D., Torres, J., Mejía, R., & González, L. (2014). Estudio comparativo de cenizas de bagazo de caña como adición puzolánica. *Revista Colombiana de Materiales*, 5, 13-18.
- Volverás-Mambuscay, B., González, C., Huertas, B., Kopp-Sanabria, E., & Ramírez-Durán, J. (2020). Efecto del fertilizante orgánico y mineral en rendimiento de caña panelera en Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(3), 547-565. <https://doi.org/10.15517/am.v31i3.37334>