

Artículo Original

**PROCEDIMIENTO ESTRATÉGICO PARA LA INTEGRACIÓN
TECNOLÓGICA EN EMPRESAS AGROINDUSTRIALES
AZUCARERAS NO DIVERSIFICADAS**

**STRATEGIC PROCEDURE FOR TECHNOLOGICAL INTEGRATION IN NON-
DIVERSIFIED AGROINDUSTRIAL SUGAR COMPANIES**

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

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

Omar Pérez Navarro² <https://orcid.org/0000-0001-6963-1327>

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, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Abril 5, 2024; Revisado: Junio 10, 2024; Aceptado: Junio 19, 2024

RESUMEN

Introducción:

La industria azucarera cubana ofrece oportunidades de usar sus subproductos y residuos en la obtención de nuevos bienes, bajo el concepto de biorrefinería. Se han hecho varias propuestas para la diversificación de empresas agroindustriales azucareras con potencialidades de hacerlo, sin la disposición de un procedimiento estratégico a seguir donde se muestren acciones concretas para la integración tecnológica.

Objetivo:

Proponer un procedimiento estratégico para la integración tecnológica, aplicable en empresas agroindustriales azucareras no diversificadas, que permita el aprovechamiento de subproductos y residuos bajo el concepto de biorrefinería.

Materiales y Métodos:

La información histórica correspondiente a una empresa agroindustrial azucarera, no diversificada, de la provincia de Camagüey, se tuvo en cuenta para la obtención de



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



criterios relacionados con el análisis complejo de procesos. Los métodos para la gestión y asimilación tecnológica, permitieron elaborar una propuesta de integración tecnológica para la obtención del xilitol, pellets y torula.

Resultados y Discusión:

Mediante un diagrama heurístico se describe un procedimiento estratégico a seguir para la integración tecnológica, que abarca desde la identificación de potencialidades de crecimiento cañero y la disposición de subproductos o residuos, considerando la fiabilidad técnica, económica y ambiental de la posible integración, hasta llegar a la optimización y propuesta de encadenamiento productivo.

Conclusiones:

Se propuso un procedimiento estratégico para la integración tecnológica en empresas agroindustriales azucareras no diversificadas considerando, desde la disponibilidad de la caña, hasta la posibilidad de encadenamientos productivos. La propuesta de integración para la producción permite el aprovechamiento de subproductos y residuos bajo el concepto de biorrefinería.

Palabras clave: biorrefinería; empresa agroindustrial azucarera; integración tecnológica; pellets; torula; xilitol.

ABSTRACT

Introduction:

The Cuban sugar industry offers opportunities to use its byproducts and waste to obtain new goods, under the concept of biorefinery. Several proposals have been made for the diversification of sugar agroindustrial companies with the potential to do so, without the provision of a strategic procedure to follow where concrete actions for technological integration are shown.

Objective:

To propose a strategic procedure for technological integration, applicable in non-diversified sugar agroindustrial companies, that allows the use of byproducts and waste under the biorefinery concept.

Materials and Methods:

The historical information corresponding to a non-diversified sugar agroindustrial company in the province of Camagüey was taken into account to obtain criteria related to the complex analysis of processes. The methods for technological management and assimilation allowed for the elaboration of a proposal for technological integration to obtain xylitol, pellets and torula.

Results and Discussion:

Using a heuristic diagram, a strategic procedure to follow for technological integration is described, which ranges from the identification of sugarcane growth potentialities and the disposal of byproducts or waste, considering the technical, economic and environmental feasibility of the possible integration, until reaching optimization and proposal of productive linkage.

Conclusions:

A strategic procedure was proposed for technological integration in non-diversified sugar agroindustrial companies, considering from the availability of sugarcane to the

possibility of productive linkage. The integration proposal for production allows the use of byproducts and waste under the biorefinery concept.

Keywords: biorefinery; sugar agroindustrial company; technological integration; pellets; torula; xylitol.

1. INTRODUCCIÓN

El empleo integral de la caña de azúcar como materia prima para varios productos ha dado lugar a lo que se ha conocido como su diversificación y más recientemente a su desarrollo como biorrefinería, para lo que se han propuesto procedimientos de carácter general (de Armas y col., 2021; Hernández y col., 2021).

Pérez (2018), planteó un procedimiento para procesos agroindustriales complementado con asimilación tecnológica, sirviendo este como una guía científica y metodológica. Aunque el estudio no estuvo dirigido específicamente a la industria azucarera, en el diagrama heurístico que presentó tuvo en cuenta como principales aspectos la identificación de potencialidades en la agroindustria, la disponibilidad de materias primas, las necesidades tecnológicas, el desarrollo de procesos y su adaptación, así como el cálculo de indicadores económicos de rentabilidad, planteando que pueden ser estos los mismos criterios a considerar en cualquier proceso industrial (Pérez y col., 2021).

Se ha propuesto un procedimiento de evaluación de alternativas para transformar instalaciones de la industria de la caña de azúcar en biorrefinerías, incluyendo los pasos que deben ejecutarse como acciones concretas en los estudios específicos (de Armas y col., 2021). La propuesta fue aplicada en una empresa agroindustrial azucarera (EAA) donde existe una destilería. Morales y col., (2021), expusieron una metodología para la sinergia industrial y la toma de decisiones en industrias que puedan ser modificadas, reconvertidas y modernizadas para la obtención de nuevos productos y coproductos de alto valor agregado.

En la presente investigación se consideran las metodologías expuestas anteriormente para la propuesta de un procedimiento estratégico que integre tecnologías e incorpore criterios de encadenamiento productivo, considerando lo planteado por Liaño y col., (2023b) y Wilson y col., (2023). Por lo que se tiene como objetivo, proponer un procedimiento estratégico para la integración tecnológica, aplicable en empresas agroindustriales azucareras no diversificadas, que permita el aprovechamiento de subproductos y residuos bajo el concepto de biorrefinería.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la definición del procedimiento estratégico de desarrollo de EAA no diversificadas como biorrefinería se realizó un análisis de algunos antecedentes de aplicación del Análisis Complejo de Procesos (ACP), la Gestión Tecnológica (GT) y las vías y métodos para asimilar tecnologías en la industria química, considerando las especificidades del escenario cubano actual (Ley y González, 2006; Hernández y col., 2009; Pérez y col., 2021). Para la elaboración de la propuesta se siguió una secuencia metodológica de diagnóstico y fortalecimiento cañero, aplicando el ACP en la

identificación de las potencialidades de diversificación de la producción azucarera, visualización de las disponibilidades de subproductos y residuos, verificación de mercados para los nuevos productos, análisis, selección, asimilación y desarrollo de tecnologías, evaluación técnico-económica y de sensibilidad y estudio de propuestas de integración tecnológica y de encadenamiento productivo.

Para la aplicación del procedimiento fue escogida como caso de estudio una EAA camagüeyana en la que no existe ninguna planta anexa, donde lo único que se produce es azúcar y energía, lo que da la posibilidad de proponer alternativas de diversificación. Es una entidad que ha mantenido su estabilidad en la producción de los últimos años a diferencia de las otras del territorio y es considerada una de las más eficientes energéticamente.

Se procedió al planteamiento de los balances de masa y energía para cada una de las etapas del proceso tecnológico azucarero de las que se obtienen las principales corrientes, definiendo la disponibilidad de subproductos en este caso específicamente el jugo de los filtros, el bagazo sobrante y la miel final, cuyas cantidades se exponen en la tabla 1.

Tabla 1. Principales corrientes en una EAA no diversificada

<i>Principales corrientes</i>	<i>(t/año)</i>
Capacidad de molienda	524 400
Azúcar crudo	24 035
Jugo de los filtros	64 894,5
Miel final	32 395,0
Bagazo sobrante	18 050,3

A partir de los subproductos disponibles se analizan cuáles pueden ser los productos a obtener y sus posibilidades de comercialización. Se seleccionaron la obtención de: levadura torula, a partir de la mezcla de un por ciento del jugo de los filtros mezclado con miel, para ser utilizada como alimento animal. La extracción del jugo de los filtros incrementaría la cantidad de bagazo sobrante. De este último, se propone elaborar xilitol aplicando un pretratamiento ácido, obteniéndose como resultado un material lignocelulósico que se piensa sea compactado en forma de pellets. Estos pueden utilizarse en la generación de energía eléctrica, en la única bioeléctrica que existe en Cuba ubicada en la provincia de Ciego de Ávila. A partir de la selección anterior, se estudian las tecnologías para cada caso.

El proceso de obtención de levadura torula aparece descrito en el manual de la industria azucarera y se tienen experiencias de su implementación en el país (Santos, 1999; Gálvez, 2000; de Armas, 2019; Ruano y col., 2022). El proceso de obtención del xilitol ha sido estudiado por varios investigadores los que han definido sus etapas y condiciones de operación (Rabassa y col., 2015; Águila y col., 2022) y el peletizado de residuos agroindustriales se realiza en el país de forma artesanal, por lo que a partir de estudios internacionales se tuvieron en cuenta las etapas del proceso y su tecnología, lo cual fue simulado y diseñado por Liaño y col., (2023b). Fue necesario a partir de lo referenciado realizar un ajuste de los costos de las plantas según las capacidades, aplicando los criterios de Peters y Timmerhaus, (2003).

Al ser el bagazo de caña el primer subproducto identificado y del cual se propone obtener dos de los productos seleccionados se procedió a su caracterización, la que consistió en el estudio de las propiedades: químicas (contenido de carbono, nitrógeno, azufre y cenizas), físicas (humedad y densidad) y lignocelulósicas (composición de hemicelulosa, celulosa y lignina), las que fueron revisadas por Liaño y col., (2023a).

Considerando que, de los tres procesos tecnológicos que se proponen integrar, del pelletizado no se han encontrado estudios en el territorio nacional a escala industrial, se simuló con el software *SuperPro Designer V 10* lo que permitió el análisis de variantes del proceso (Liaño y col., 2023b).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como parte de los resultados, se propuso un esquema de integración tecnológica (biorrefinería) que incluirá la fábrica de azúcar, una instalación productora de crema de levadura torula utilizando una parte del jugo filtrado mezclado con miel final, una instalación para la producción de xilitol a partir del bagazo disponible y otra para la pelletización de la masa lignocelulósica resultante del proceso de hidrólisis ácida del xilitol. En la figura 1 se representa el esquema de integración tecnológica propuesto.

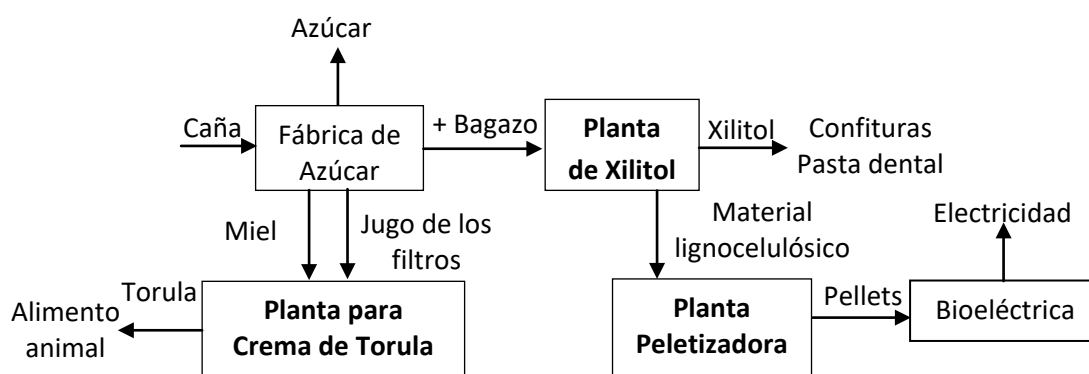


Figura 1. Integración tecnológica de la producción de azúcar y las nuevas producciones de torula, xilitol y pellets

Para pellets producidos a partir de muestras de bagazo, se realizaron pruebas de compactación, resistencia a la compresión y al impacto. Un resumen estadístico de los resultados obtenidos de las propiedades estudiadas, se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Resumen estadístico de los resultados de las propiedades estudiadas

<i>Parámetros</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>	<i>Densidad en bulto(kg/m³)</i>	<i>Resistencia al impacto (%)</i>
Muestras	26	37	10	33
Promedio	10,4	884,613	434,074	98,4706
Desviación estándar	0,0079	69,882	4,3823	0,4021
Coefficiente de variación (%)	7,651	7,8997	1,0096	0,4083
Mínimo	0,0926	718,814	426,667	97,55
Máximo	0,1238	1003,18	441,667	98,94
Rango	0,0312	284,371	15,0	1,39

Empleando el *software Statgraphics V 10* se realizaron pruebas de hipótesis para la validación de los resultados obtenidos sobre las propiedades de los pellets. Las pruebas arrojaron los resultados que se muestran en la tabla 3. Al ser $P \leq 0$ se rechaza la hipótesis nula y por tanto se puede decir que las medias de cada propiedad cumplen con los indicadores establecidos para cada caso.

Tabla 3. Resultados de las pruebas de hipótesis

<i>Parámetros</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>	<i>Densidad del bulto (kg/m³)</i>	<i>Resistencia al impacto %</i>
Desviación estándar	0,0 079	69,882	4,3 823	0,4 021
Media muestral	10,4	884,613	434,074	98,4 706
Número de muestras	26	37	10	33
Hipótesis nula	H ₀ =12	H ₀ =1 200	H ₀ =1 200	H ₀ =97
Hipótesis alternativa	H ₁ <12	H ₁ <1 200	H ₁ <1 200	H ₁ >97
Valor de P	P=0,0	P=0,0	P=0,0	P=0,0

El diagrama heurístico con el procedimiento para el desarrollo de las EAA no diversificadas como biorrefinería, comienza con la identificación de las potencialidades de crecimiento cañero y la ejecución de acciones para el fortalecimiento de esta producción. Esta etapa implica la evaluación de rendimientos y la confección y ejecución de estrategias de crecimiento en áreas y rendimientos con aplicación de adecuados métodos agro-técnicos. Luego del fortalecimiento de la producción cañera y mediante la aplicación de las herramientas del ACP se estudia detalladamente el proceso azucarero determinando posibles estrategias de diversificación en el concepto de biorrefinería, previa identificación y cuantificación de subproductos y residuos destinados a la elaboración de los nuevos productos. Una vez definida la estrategia de diversificación y atendiendo a la disponibilidad de subproductos y residuos se fija la capacidad de los procesos diversificados y se verifican la existencia de mercado y las condiciones de comercialización para dichos productos.

Posteriormente, se evalúa si la disponibilidad de subproductos y residuos satisface la capacidad y mercado previstos. En caso negativo se buscan incrementos de la disponibilidad de subproductos o residuos a través del fortalecimiento cañero y su implicación en el proceso de producción de azúcar. En caso afirmativo se analiza si las tecnologías requeridas han sido estudiadas previamente con un grado de detalle que permita su asimilación directa. En caso negativo se realizan estudios de desarrollo de procesos para determinar las condiciones o parámetros tecnológicos que garantizan los indicadores de calidad, rendimientos, conversiones, etc. Cuando, a través de dichos estudios, no se garantizan los estándares de calidad se seleccionan nuevos productos. En caso de garantizarse los mismos se considera que la tecnología está lista para diseño.

Tanto para las tecnologías conocidas como para las desarrolladas se procede posteriormente a la selección de las tecnologías apropiadas y competitivas siguiendo los criterios técnicos, económicos y ambientales (Ley y González., 2006; Pérez y col., 2021). Para las tecnologías seleccionadas se efectúa el diseño o la asimilación dependiendo de si fueron desarrolladas a través de estudios para la obtención de

productos o si a la información de procesos se accedió a través de la vigilancia tecnológica (VT), por observación directa o búsqueda de información científico técnica y patentes.

Para las tecnologías diseñadas o asimiladas se procede posteriormente a efectuar la evaluación ambiental y técnico-económica. Si, atendiendo a dichos criterios, las tecnologías no son viables se seleccionan nuevas alternativas. Si los resultados de viabilidad son satisfactorios se propone la estrategia para la integración tecnológica que incluye la integración material y energética. Posteriormente se efectúa la evaluación técnico-económica de la propuesta integrada.

Si los resultados de factibilidad no son adecuados se efectúa el análisis de sensibilidad de la propuesta. Si las razones de la baja efectividad son de origen tecnológico se seleccionan nuevas alternativas, en caso contrario, se analiza el efecto de la escala (capacidad) sobre la efectividad económico-financiera del proyecto. Si las razones de la factibilidad no adecuada están originadas por bajas capacidades se propone una capacidad incrementada lo cual implica considerar un nuevo tamaño de la instalación. En caso contrario, atendiendo a que el análisis de sensibilidad no permite garantizar resultados técnico-económicos adecuados se declara la alternativa integrada como no factible con lo cual concluye el procedimiento al no ser posible diversificar la instalación en las condiciones existentes. Todo lo descrito anteriormente se muestra en la figura 2.

Si la integración arroja resultados de factibilidad adecuados se selecciona la mejor variante. La secuencia metodológica continúa con la optimización de la variante de integración seleccionada, la propuesta de encadenamiento productivo con otras empresas y la evaluación técnico-económica final de la alternativa integrada y encadenada con lo cual termina el tratamiento metodológico.

El procedimiento aplicado al caso de estudio seleccionado aportó como resultado la integración tecnológica propuesta en cuanto a la factibilidad técnico-económica y ambiental, referenciada por Liaño y col., (2024). Concluyendo con una propuesta de encadenamiento productivo a partir de las potencialidades del territorio.

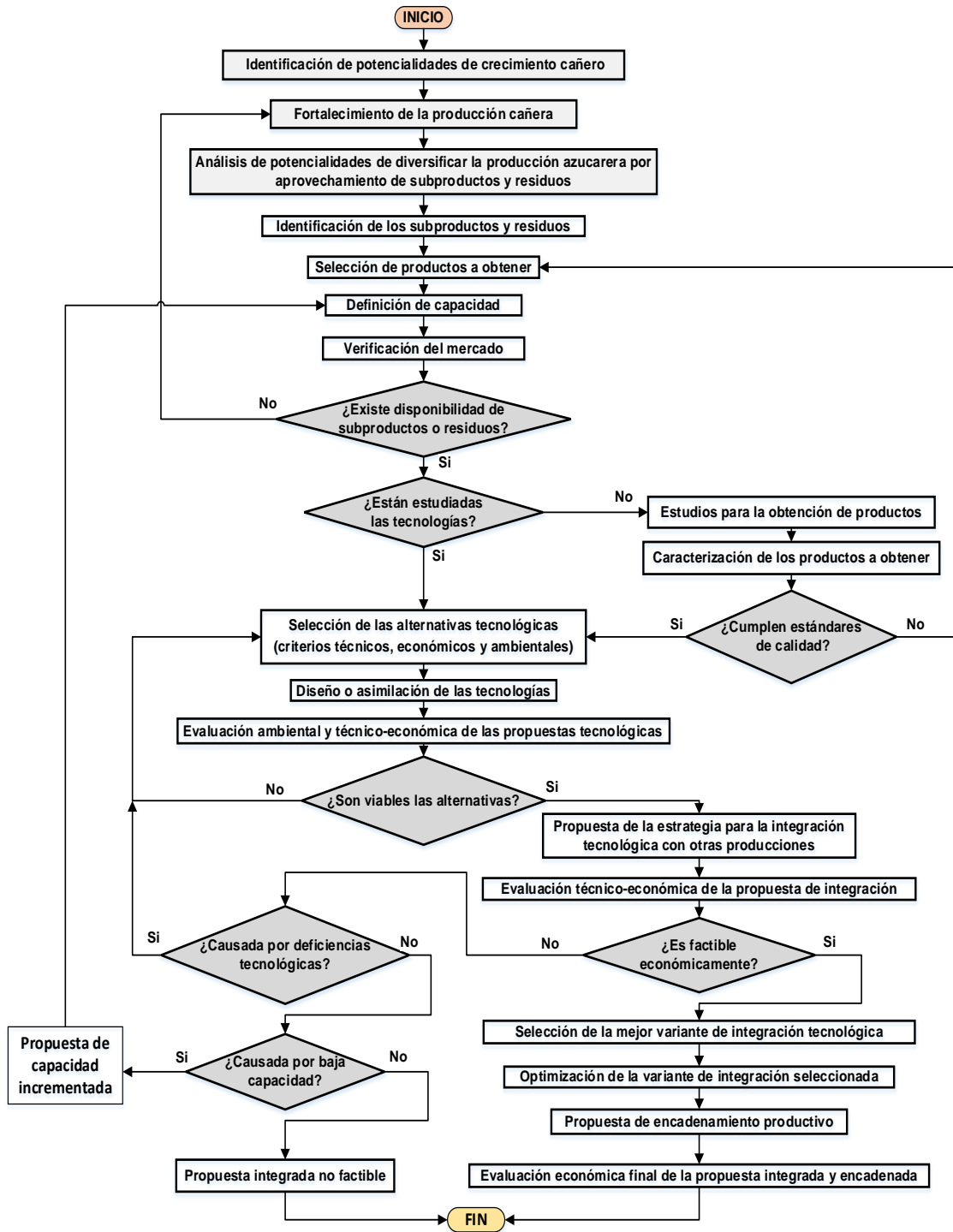


Figura 2. Diagrama heurístico del procedimiento para la integración en EAA no diversificadas como biorrefinería

4. CONCLUSIONES

1. Se propone un procedimiento estratégico para la integración tecnológica en empresas agroindustriales azucareras no diversificadas que abarca, desde la disponibilidad de la caña, hasta la posibilidad de encadenamientos productivos.
2. La propuesta de integración de las tecnologías para la producción de levadura torula, xilitol y pellets, permite el aprovechamiento de subproductos y residuos como el jugo de los filtros, bagazo y la miel, bajo el concepto de biorrefinería.

REFERENCIAS

- Águila, L.E., González, E., y Albornas, 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>
- de Armas, A.C., Evaluación de esquemas de biorrefinería de segunda y tercera generación en una industria azucarera cubana., Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Especialidad Ingeniería Química en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, 2019.
- de Armas, A.C., González, E., Kafarov, V., Zumalacarreui, L., Oquendo, H., y Ramos, F., Procedimiento de evaluar alternativas para transformar instalaciones de la industria de la caña de azúcar en biorrefinerías. Universidad y Sociedad, Vol. 13, No. 5, 2021, pp. 565-573. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v13n5/2218-3620-rus-13-05-565.pdf>
- Gálvez, L., Manual de los derivados de la caña de azúcar., ICIDCA, Imprenta Minaz, 2000, pp. 243-249.
- Hernández, J. P., García, A., y González, E., Estrategia para la evaluación tecnológica en la etapa exploratoria del Análisis Complejo de Procesos en plantas de gases industriales., Tecnología Química, Vol. XXIX, No. 1, 2009, pp. 17-24. <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543758003.pdf>
- Hernández, J.P., de Armas, A.C., Espinosa, R.O., Pérez, O., y Guerra, L.E., Procedimiento de análisis energético para la conversión de industrias de la caña de azúcar en biorrefinerías., Universidad y Sociedad, Vol. 13, No. 5, 2021, pp. 277-288. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2234/2208>
- Ley, N., y González, V., Aspectos metodológicos para la transferencia tecnológica de un proceso químico., Ingeniería Química de Uruguay, No. 29, 2006, pp. 30-34.
- Liaño, N., Guerra, L.E., Pérez, M., y González, E., Pellets de bagazo de caña, una oportunidad energética., Centro Azúcar, Vol. 50, No. 2, 2023a, e1022. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/754
- Liaño, N., Padrón, A.C., Pérez, M., y González, E., Alternativas tecnológicas para la pelletización del bagazo de caña como forma de encadenamiento productivo. Universidad y Sociedad, Vol. 15, No. 4, 2023b, pp. 111-119. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3958>
- Liaño, N., Pérez, M., Prieto, A., y González, E., Estrategia de desarrollo de una fábrica de azúcar como biorrefinería incluyendo la producción de pellets para una bioeléctrica., Tecnología Química, Vol. 44, No. 2, 2024, pp. 254-268. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v44n2/2224-6185-tq-44-02-254.pdf>
- Morales, M., de Armas, A.C., González, E., Ley, N., y Villanueva, G., La sinergia entre las biorrefinerías de azúcar y el desarrollo de la industria química en Cuba., Universidad y Sociedad, Vol. 3, No. 5, 2021, pp. 81-91. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2213>
- Pérez, O., Procedimiento estratégico de desarrollo de procesos agroindustriales complementados con asimilación tecnológica aplicado a los productos de Manihot Esculenta Crantz., Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Especialidad Ingeniería Química en la Universidad Central
-

- “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2018.
- Pérez, O., Ley, N., y González, E., Procedimiento estratégico de desarrollo de procesos agroindustriales complementado con asimilación tecnológica., Centro Azúcar, Vol. 48, No. 1, 2021, pp. 47-58. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v48n1/2223-4861-caz-48-01-47.pdf>
- Peters, M.S., & Timmerhaus, K.D., Plant design and economics for chemical engineers, Chapter. 6, McGraw-Hill Editorial, 2003, pp. 150-216.
- Rabassa, G., González, E., Pérez, A., Miño, J.E. y Pérez, A., D-Xilosa y Glucosa a partir de residuos de la Industria Azucarera., Revista Científica de la UCSA, Vol. 2, No. 2, 2015, pp. 6-22. <http://scielo.iics.una.py/pdf/ucsa/v2n2/v2n2a02.pdf>
- Ruano, M., González, E., León, E.A., Cruz, L. y Albernas, Y., Efecto del pago de la caña en la calidad del azúcar y en la eficiencia inversionista de torula., Centro Azúcar, Vol. 49, No. 3, 2022, pp. 11-23. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612022000300011
- Santos, R., Estrategia de análisis de alternativas para la reactivación de las instalaciones actuales de levadura torula., Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Especialidad Ingeniería Química en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 1999.
- Wilson, F.E., Galindo, P., Oquendo, H., y González, E., Procedimiento para la proyección del desarrollo de la industria azucarera en un territorio considerando balance intersectorial., Centro Azúcar, Vol. 50, No. 1, 2023, e1003. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612023000100003

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Dr.C. Norlem Liaño Abascal. Análisis formal, redacción - primera redacción, redacción - revisión y edición, investigación, metodología.
 - Dr.C. Misdelki Pérez Colas. Análisis formal, redacción - primera redacción, redacción - revisión y edición, investigación, metodología.
 - Dr.C. Omar Pérez Navarro. Análisis formal, redacción - primera redacción, metodología.
 - Dr.Sc. Erenio González Suárez. Análisis formal, investigación, supervisión.
-