

Artículo Original

**REUTILIZACIÓN DE VINAZA COMO DILUYENTE EN LA
FERMENTACIÓN DE MELAZA: UN PASO HACIA LA
SOSTENIBILIDAD EN LA INDUSTRIA DEL ETANOL**

**VINASSE REUSE AS A DILUENT IN MOLASSES FERMENTATION: A STEP
TOWARDS SUSTAINABILITY IN THE ETHANOL INDUSTRY**

Yenisleidy Martínez Martínez ¹ <https://orcid.org/0000-0002-0229-129X>
Yaillet Albernas Carvajal ² <https://orcid.org/0000-0003-4363-4401>
Erenio González Suárez ² <https://orcid.org/0000-0001-5741-8959>
Leyanis Mesa Garriga ^{3*} <https://orcid.org/0000-0003-4449-5239>

¹ Facultad de Ingeniería. Universidad de Concepción. Región del Bio Bio, Chile.

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

³ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Departamento de Bioproductos, Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

Recibido: Agosto 27, 2024; Revisado: Septiembre 2, 2024; Aceptado: Septiembre 9, 2024

RESUMEN

Introducción:

La producción de etanol a partir de caña de azúcar genera subproductos importantes, especialmente la vinaza, que presenta desafíos ambientales.

Objetivo:

Evaluar el uso de la vinaza como diluyente en la fermentación de melaza para la reducción del consumo de agua y mejorar la sostenibilidad del proceso de producción de etanol.

Materiales y Métodos:

Se utilizó melaza de la Empresa Agroindustrial Azucarera "Heriberto Duquesne" en Villa Clara, Cuba, y la vinaza se extrajo de la columna de destilación. Se probaron cinco tratamientos, con diluciones de vinaza entre el 10% y el 50%. Las fermentaciones se realizaron por duplicado y monitoreando el brix y el pH durante 40 horas.



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: Leyanis Mesa, Email: leyanis.mesa@gmail.com



Resultados y Discusión:

Las mejores eficiencias de fermentación se lograron con un 10% y 20% de vinaza, obteniendo eficiencias del 77,67% y 77,28%, respectivamente. Las concentraciones más altas de vinaza resultaron en una disminución del pH y en una menor producción de etanol. Se determinó que la tasa óptima de recirculación de vinaza es del 18%, alcanzando una eficiencia del 78,1%. Esta recirculación redujo el consumo de agua en aproximadamente un 20%, lo que equivale a un ahorro diario de 13,7 m³ de agua fresca.

Conclusiones:

El estudio concluye que el uso de vinaza como diluyente en la fermentación de melaza puede reducir el consumo de agua sin afectar negativamente la eficiencia de la fermentación. Es factible sustituir hasta un 20% del agua por vinaza para una producción de etanol más sostenible.

Palabras clave: consumo de agua; etanol; reciclaje; vinaza.

ABSTRACT

Introduction:

Ethanol production from sugarcane generates significant by-products, particularly vinasse, which poses environmental challenges.

Objective:

To evaluate the use of vinasse as a diluent in molasses fermentation to reduce water consumption and enhance the sustainability of the ethanol production process.

Materials and Methods:

Molasses from the “Heriberto Duquesne” Sugar Agroindustrial Company in Villa Clara, Cuba, was used, and the vinasse was extracted from the distillation column. Five treatments were tested, with vinasse dilutions between 10% to 50%. Fermentations were conducted in duplicate and monitoring the brix and pH for 40 hours.

Results and Discussion:

The best fermentation efficiencies were achieved with 10% and 20% vinasse, resulting in 77.67% and 77.28% efficiencies, respectively. The highest vinasse concentrations resulted in a decrease in pH and lower ethanol production. The optimal vinasse recirculation rate was determined to be 18%, reaching an efficiency of 78.1%. This recirculation reduced water consumption by approximately 20%, which is equivalent to a daily saving of 13.7 m³ of fresh water.

Conclusions:

The study concludes that using vinasse as a diluent in molasses fermentation can reduce water usage without negatively affecting fermentation efficiency. It is feasible to replace up to 20% of water with vinasse for more sustainable ethanol production.

Keywords: water consumption; ethanol; reuse; vinasse.

1. INTRODUCCIÓN

El etanol, como biocombustible, se posiciona como una alternativa sostenible frente a los combustibles fósiles debido a su menor impacto ambiental y su capacidad para

reducir el consumo de petróleo crudo (Jaiswal y col., 2017). Sin embargo, su producción a partir de la caña de azúcar, genera una serie de subproductos, entre los que destacan la vinaza, la cual presenta importantes desafíos medioambientales (Cortés-Rodríguez y col., 2018). La vinaza tiene una relación de generación desde 10 hasta 15 litros por cada litro de etanol producido (Montiel-Rosales y col., 2022), y su disposición inadecuada puede tener graves consecuencias para los ecosistemas acuáticos y terrestres.

En este contexto, la industria de etanol ha avanzado en el desarrollo de diversas estrategias para la reutilización de sus residuos. La vinaza se ha empleado tradicionalmente como fertilizante o en la producción de biogás (Bernal y col., (2017); Fues y col., (2018); Rodrigues y Hu, (2017); Utami y col., (2016)). Sin embargo, su uso como fertilizante tiene limitaciones ya que en exceso causa problemas en el suelo como cambios en el pH y en la microbiota. En el caso específico de este estudio, la planta de biogás no tiene la capacidad suficiente para procesar toda la vinaza que sale de la destilería anexa. Por tanto, el uso de la vinaza como diluyente de melazas en el proceso de fermentación es una alternativa promisorio, particularmente en zonas donde la escasez de agua exige soluciones más eficientes y sostenibles (Palacios-Bereche y col., 2014).

La fermentación de melaza requiere grandes cantidades de recursos hídricos para la dilución del mosto, debido a que no puede introducirse directamente en el proceso fermentativo sin disminuir significativamente la cantidad de azúcar (Ribeiro y col., 2022) y por tanto, el uso de las vinazas puede reducir significativamente el consumo de agua en la producción de etanol y mejorar la sostenibilidad del proceso. No obstante, los compuestos tóxicos presentes en la vinaza, como fenoles y melanoidinas, pueden inhibir la actividad de la levadura durante la fermentación (Montiel-Rosales y col., 2022).

Este estudio tiene como objetivo evaluar el uso de la vinaza como diluyente en la fermentación de melaza para la reducción del consumo de agua y mejorar la sostenibilidad del proceso de producción de etanol.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materias primas

Como fuente de azúcar fermentable se utilizó la melaza obtenida de la Empresa Agroindustrial Azucarera “Heriberto Duquesne” ubicada en la provincia Villa Clara, Cuba. La caracterización de la melaza usada se muestra en la tabla 1. Los resultados mostrados son el valor puntual de la caracterización de la melaza usada en esta evaluación.

Tabla 1. Caracterización de la melaza

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
°Brix	85,76
ART (%)	56,15
Reductores libres (%)	16,72
Azúcares fermentables(%)	52,69
Infermentables (%)	3,46

Sacarosa (%)	37,46
Densidad (g/ml)	1,45
Lodos (g/L)	6,2
pH	6,0

La vinaza fue extraída de la columna de destilación tras la fermentación del etanol a partir de la melaza. La vinaza se caracterizó cuando la temperatura se redujo de 102 °C a 32 °C aproximadamente. La caracterización se realizó para azúcares reductores totales (ART), que es la variable más frecuente para considerar en el balance de masa para ajustar los azúcares reductores totales (ART) iniciales. El brix de la vinaza fue de 6,1°Bx, los ART de 1,6 g/L, la densidad de 1,02 g/mL y el pH de 4,15. Estos parámetros fueron determinados según los protocolos de la fábrica de etanol descritos por Arencibia (2014).

2.2 Proceso de fermentación

2.2.1 Estrategia experimental

Para la evaluación del contenido de vinaza que puede ser usado para dilución de la melaza, fueron realizados cinco tratamientos: vinaza natural (*in natura*) al 10%, al 20%, al 30%, al 40% y al 50%, cada uno con una repetición. El porcentaje de recirculación está referido respecto al volumen de agua fresca a utilizar si fuera sin vinazas (solo melaza y agua). La bibliografía reporta que es posible recircular hasta un 50 % (Alemu y col., 2022).

2.2.1.1 Características del prefermento

El prefermento utilizado fue obtenido de la fábrica. Las características de ese prefermento con una única medición se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Características del prefermento utilizado

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
°Brix	8,25
ARF (g/L)*	21,8
Grado alcohólico (°GL)	4,1
Conteo celular ($\times 10^6$)	229
Gemación (%)	56,25
Viabilidad (%)	89
pH	4,1

*ARF: Azúcares reductores fermentables

2.2.1.2 Condiciones de fermentación y llenado de los fermentadores

Para efectuar la fermentación se trabajó con un volumen de prefermento de 0,2 L y los ART iniciales de la fermentación utilizando la melaza y las diferentes proporciones de vinazas fueron establecidos en 112 g/L para 2L de volumen de fermentación final.

El llenado de los fermentadores se efectuó por alimentaciones, similar a la forma en que se realiza en fábrica. Primeramente, se adicionó un colchón de melaza (0,1 L) y el volumen de prefermento necesario ($1/10 \times V_{\text{Fermentador}}$) para realizar la inoculación del

fermentador con la levadura *Saccharomyces cerevisiae* Turbo yeast y se deja fermentando bajo condiciones anaerobias para garantizar la transformación de los azúcares en alcohol. Este primer paso se realiza con el objetivo de adaptar gradualmente el microorganismo al medio. Cuando se comienza a observar burbujeo en el medio por la liberación de CO₂ y se la medición del Brix es el 70% del Brix inicial, se realiza la adición del segundo refresco. Luego de adicionado ese segundo refresco (medio de cultivo de melaza diluida con vinaza a una concentración de 112 g/L de ART) se sigue el mismo procedimiento para la adición del tercer refresco o sustrato y se continua con la fermentación hasta que el Brix se mantenga constante. La figura 1 muestra el esquema de llenado del fermentador.

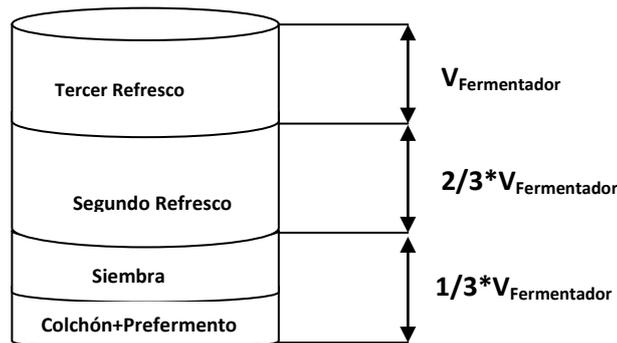


Figura 1. Procedimiento para el llenado del fermentador en dos refrescos

2.2.1.3 Balance de masa para cada alternativa analizada

En la tabla 3 se presentan los balances de masa para cada experimento.

Tabla 3. Balance de masa para cada uno de los tratamientos usando melaza como sustrato y vinaza como diluyente

Exp.	M. Primas	Valor	Ecuaciones
Colchón	Melaza, M (g)	16,514	$M + A = C$ (1) $M * \%ARF_M = C * ARF_C$
	Agua, A (L)	0,0886	
	ARF _C	87	
10% Vinaza	Melaza, M (g)	404,57	$C + Pre + M + A + V = B$ (2) $C * ARF_C + Pre * ARF_{Pre} + M * \%ARF_M = C * ARF_C$ (3)
	Agua, A (L)	1,2789	
	Vinazas, V (L)	0,14211	$M = \frac{C * ARF_C - (C * ARF_C + Pre * ARF_{Pre})}{\%ARF_M}$ (4)
	Vinazas, V (g)	145,27	$(A + V) = B - (C + Pre + \frac{M}{\rho})$ (5)
20% Vinaza	Melaza, M (g)	404,57	$V = \%Vinaza * (A + V)$ (6)
	Agua, A	1,1369	

	(L)		$M_V = \rho_V * V$	(7)
	Vinazas, V (L)	284,22		
	Vinazas, V (g)	290,54		
30% Vinaza	Melaza, M (g)	404,57		
	Agua, A (L)	0,99477		
	Vinazas, V (L)	0,4263		
	Vinazas, V (g)	435,82		
40% Vinaza	Melaza, M (g)	404,57		
	Agua, A (L)	0,8527		
	Vinazas, V (L)	0,5684		
	Vinazas, V (g)	581,09		
50% Vinaza	Melaza, M (g)	404,57		
	Agua, A (L)	0,7105		
	Vinazas, V (L)	0,7105		
	Vinazas, V (g)	726,36		

2.3 Métodos analíticos

En la fermentación se cuantificó el pH con un pH-metro Inesa, el contenido de etanol usando el método de densitometría, y los azúcares reductores residuales totales (ART) por el método Fehling (Arencibia, 2014). Los ART sin fermentar y el grado alcohólico fueron determinados al finalizar la fermentación. La determinación del rendimiento se calculó usando la ecuación 8.

$$Eficiencia = \frac{\frac{ml(\text{alcohol producido}) * P(\text{etanol})}{gramos(\text{miel fermentable})}}{0,51} \quad (8)$$

Donde: 0,51 corresponde a la eficiencia máxima teórica según Gay Lussac (Madaleno y col., 2024).

2.4 Análisis estadístico

El análisis de regresión polinomial para evaluar la dependencia del porcentaje de vinazas recirculado y el Rendimiento en fermentación, se realizó utilizando el software *Statgraphics Centurion 18*. Para la optimización se utilizó la herramienta *Solver* del *Microsoft Excel*.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio fue demostrado que la recirculación de vinazas a la etapa de fermentación es una opción tecnológica que impacta sobre el ahorro del agua en el proceso de fermentación.

3.1 Proceso de fermentación

El Brix es la medida usada para dar seguimiento a la fermentación y, luego de las alimentaciones de sustrato o refrescos, cuando este se mantiene constante por espacio de más de dos lecturas seguidas se da por concluida la fermentación. El tiempo total de fermentación tuvo una duración de más de 40 horas en todas las corridas.

Las figuras 2 y 3 muestran el comportamiento del Brix y pH respectivamente para las cinco evaluaciones durante toda la fermentación.

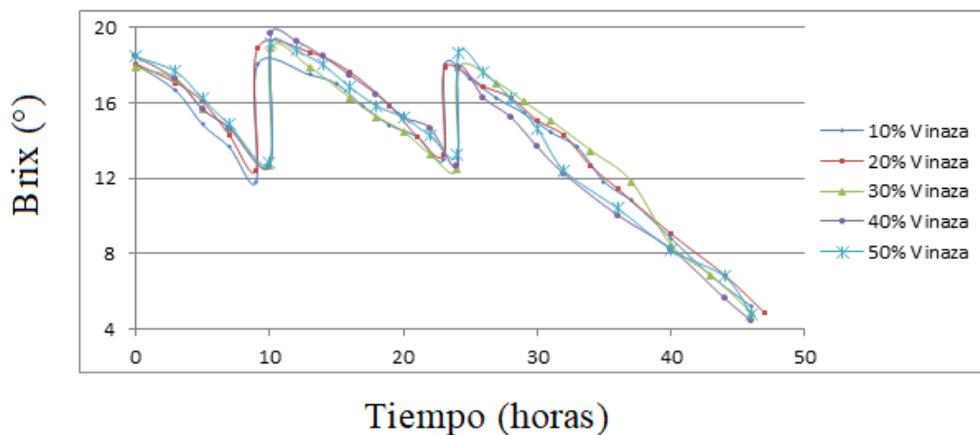


Figura 2. Comportamiento del Brix durante la fermentación para las 5 condiciones

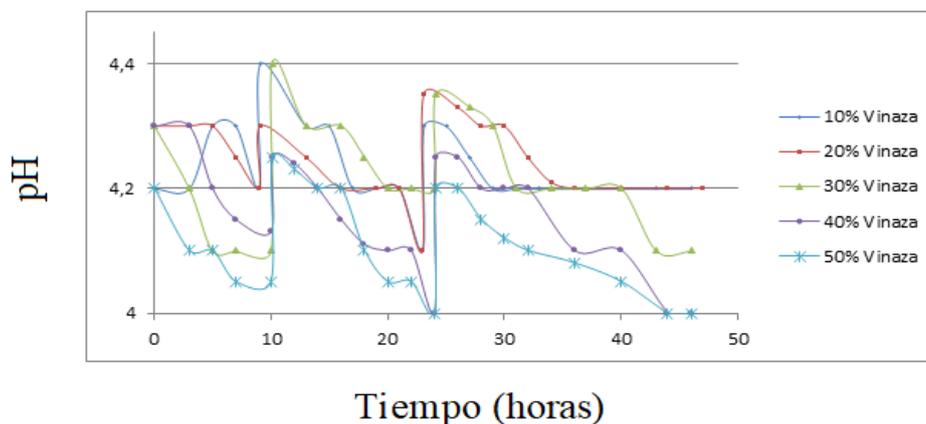


Figura 3. Comportamiento del pH durante la fermentación para las 5 condiciones

La figura 2 muestra que en todas las experiencias se observó el descenso del Brix con el tiempo, lo que evidencias el consumo de sustrato. Por otro lado, el pH se mantiene dentro del rango óptimo durante toda la fermentación, pero los experimentos con mayores porcentajes de vinazas terminan con pH más bajos. En estas dos evaluaciones, con 40 y 50% de vinazas, el pH muestra un descenso más pronunciado a partir de las 25 horas de fermentación.

En la tabla 4 se observa que los mejores resultados son aquellos que trabajan con un 10 y 20 % de vinazas, donde se obtienen eficiencias de 77,67% y 77,28 % respectivamente. Los resultados menos favorables son los que se recircula un 50% de las vinazas. El contenido de sales y la presión osmótica que presenta la vinaza influye sobre el desempeño de las levaduras en el proceso fermentativo (Alemu y col., 2022). En las condiciones que se recircula más vinaza se observa el decrecimiento del pH, de la concentración de etanol y a su vez de la eficiencia de la fermentación.

Tabla 4. Resultados de la fermentación para los cinco tratamientos

<i>Tratamientos</i>		<i>ART (g/L)</i>	<i>%Alcohólico (*GL)</i>	<i>Eficiencia (%)*</i>
10% V	Inicial	112	5,6± (0,87)	77,67
	Final	2,8		
20% V	Inicial	112	5,5± (0,54)	77,28
	Final	1,8		
30% V	Inicial	112	5,1± (0,32)	75
	Final	2,4		
40% V	Inicial	112	5,32± (0,76)	74,36
	Final	3		
50% V	Inicial	112	4,5± (0,98)	63,43
	Final	2		

*La eficiencia fue calculada usando la media aritmética del % alcohólico

Las tablas 5 y 6 muestran el análisis de regresión polinomial y de varianza para la eficiencia de la fermentación, respectivamente.

Tabla 5. Análisis de Regresión Polinomial

<i>Variable dependiente: Eficiencia (%)</i>				
<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico T</i>	<i>P-Valor</i>
Constante	73,25	4,91	14,93	0,0045
Concentración de vinaza	51,91	37,4	1,39	0,2995
Concentración de vinaza ²	-138,86	61,151	-2,27	0,1512

Tabla 6. Análisis de la Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>GL</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Valor</i>
Modelo	125,59	1	62,79	11,99	0,0770
Residuo	10,4705	8	5,23		
Total (Corr.)	136,06	9			

R-cuadrado = 92,3%

Dado que el p-valor en la tabla 6 es inferior a 0,10, hay relación estadísticamente significativa entre Eficiencia y Concentración de vinaza para un nivel de confianza del 0,10. La ecuación 9 muestra el modelo obtenido.

$$\text{Eficiencia (\%)} = 73,25 + 51,91 * \% \text{Vinaza} - 138,86 * \% \text{conc. Vinaza}^2 \quad (9)$$

3.1.2 Optimización del modelo

El análisis estadístico de los experimentos realizados brinda el modelo que relaciona el porcentaje de vinazas a recircular con la eficiencia fermentativa, por lo que a través de la optimización de este modelo se puede encontrar la razón de recirculación óptima que garantiza una eficiencia máxima, ver tabla 7.

Tabla 7. Resultados de la optimización

<i>Nombre</i>	<i>Valor Final</i>
$\text{Eficiencia (\%)} = 73,25 + 51,91 * \% \text{Vinaza} - 138,86 * \% \text{Vinaza}^2$	78 %
<i>Nombre</i>	<i>Valor Final</i>
Concentración de vinaza	18,6 %

Como se observa, el mejor resultado resulta cuando se sustituye un 18% del agua para diluir la melaza con vinazas, para lo cual se obtiene una eficiencia de fermentación de 78,1 %. Este valor coincide con lo reportado por otros autores para la recirculación de vinaza natural (*in natura*) bajo otras condiciones (Alemu y col., 2022) y es similar al obtenido en la fábrica con melaza solamente presentando como media histórica un valor entre 77 a 81% (Arencibia, 2014). Otras alternativas para la recirculación de las vinazas en el proceso fermentativo de etanol pueden ser consideradas como el tratamiento de las vinazas con carbón activado a partir de diferentes materiales, lo que puede aumentar la cantidad de vinaza reciclada en la fermentación sin perjuicio de la misma (Madaleno y col., 2024).

Para una producción diaria de 500 hL de etanol en la destilería, diluir la melaza con el 18% de vinazas en el agua de dilución, representa un ahorro de agua de aproximadamente el 20% en comparación con la no recirculación (utilizando solo agua), representando 13,7 m³ diarios de ahorro de agua corriente, lo que en condiciones de estrés hídrico es un aporte importante al ahorro de agua. La implementación del reciclo de vinazas en la Empresa Agroindustrial Azucarera “Heriberto Duquesne” requiere una adaptación tecnológica de instalación de bombas y tuberías cuyo valor invertido puede ser recuperado en un plazo de 2 años considerando un período útil de 300 días al año (Arencibia, 2014). En trabajos posteriores se considera evaluar la calidad en cuanto aroma y sabor del etanol obtenido con recirculación de vinazas.

4. CONCLUSIONES

1. La fermentación de melaza utilizando entre 18-20% de melaza como diluyente es posible sin afectar el rendimiento de la misma en comparación con la fermentación de melaza-agua en las condiciones de funcionamiento de la destilería de la Empresa Agroindustrial Azucarera “Heriberto Duquesne”.
2. El impacto en el ahorro de agua fresca diario es significativo. Con el 18 % de vinaza reciclada, se ahorran 13,7 m³ de uso de agua fresca al día.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el trabajo de laboratorio realizado por el ingeniero Yuniesky Arencibia Castilla de la fábrica de Ron, Combinado Cubanacán Benito Ramírez.

REFERENCIAS

- Alemu, A., Getachew, M., Ahmed, G.M.S., Tirth, V., & Algahtani, A., Effect of vinasse recycling on effluent reduction from distilleries: Case of Metehara distillery, Ethiopia., *Processes*, Vol. 10, No. 1, 2022, pp. 1-9. <https://doi.org/10.3390/pr10010007>
- Arencibia, Y., Impacto de la recirculación de vinazas a la etapa fermentativa en el proceso de producción de etanol en la destilería Heriberto Duquesne., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2014. <https://dspace.uclv.edu.cu/items/66277729-0237-43eb-8a60-8450646a48ee>
- Bernal, A.P., dos Santos, I.F.S., Moni Silva, A.P., Barros, R.M., & Ribeiro, E.M., Vinasse biogas for energy generation in Brazil. An assessment of economic feasibility, energy potencial and avoided CO₂ emissions., *Journal of Cleaner Production*, Vol. 151, 2017, pp. 260-271. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.064>
- Cortés-Rodríguez, E.F., Fukushima, N.A., Palacios-Bereche, R., Ensinas, A.V., & Nebra, S.A. Vinasse concentration and juice evaporation system integrated to the conventional ethanol production process from sugarcane. Heat integration and impacts in cogeneration system., *Renewable Energy*, Vol. 115, 2018, pp. 474-488. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.036>
- Fuess, L.T., García, M.L., & Zaiat, M., Seasonal characterization of sugarcane vinasse: Assessing environmental impacts from fertirrigation and the bioenergy recovery potential through biodigestion., *Science of the Total Environment*, Vol. 634, 2018, pp. 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.326>
- Jaiswal, D., De Souza, A.P., Larsen, S., Lebauer, D.S., Miguez, F.E., Sporovek, G., Bollero, G., Buckeridge, M.S., & Long, S.P., Brazilian sugarcane ethanol as an expandable green alternative to crude oil use., *Nature Climate Change*, Vol. 7, No. 11, 2017, pp. 788-792. <https://doi.org/10.1038/nclimate3410>
- Madaleno, L.L., Guimaraes, C.C., De Paula, N.F., & Teixeira, J.R., Vinasse treated with charcoal as a molasses diluent for ethanol fermentation., *Water Science and Technology*, Vol. 90, No. 1, 2024, pp. 18-31. <https://doi.org/10.2166/wst.2024.200>
- Montiel-Rosales, A., Montalvo-Romero, N., García-Santamaría, L.E., Sandoval-Herazo,
-

- L.C., Bautista-Santos, H., & Fernandez-Lambert, G., Post-Industrial use of sugarcane ethanol vinasse: A systematic review., *Sustainability*, Vol. 14, No. 18, 2022, 11635. <https://doi.org/10.3390/su141811635>
- Palacios-Bereche, R., Ensinas, A., Modesto, M., & Nebra, S.A., New alternatives for the fermentation process in the ethanol production from sugarcane: Extractive and low temperature fermentation., *Energy*, Vol. 70, 2014, pp. 595-604. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.032>
- Ribeiro, N.N., Cazadore, V.C., & Madaleno, L.L., Use of distillery effluents in dilution of molasses for ethanol production., *SugarTech.*, Vol. 25, 2023, pp. 366–372. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01202-7>
- Rodrigues, C.E., & Hu, B., Vinasse from sugarcane ethanol production: Better treatment or better utilization?. *Frontiers in Energy Research*, Vol. 5, 2017, pp. 1-7. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2017.00007>
- Utami, I., Redjeki, S., & Astuti, D.H., Biogas production and removal COD_BOD and TSS from wastewater industrial alcohol (vinasse) by modified UASB bioreactor., *MATEC Web of conferences*, Vol. 58, 2016, 01005. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20165801005>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Dr.C. Yenisleidy Martínez Martínez. Conceptualización, investigación, metodología, análisis formal, redacción-primera redacción.
 - Dr.C. Yaillet Albernas Carvajal. Conceptualización, metodología, análisis formal.
 - Dr.Sc. Erenio González Suárez. Obtención de financiación, conceptualización.
 - Dr.C. Leyanis Mesa Garriga. Conceptualización, investigación, metodología, análisis formal, redacción-primera redacción, supervisión, redacción-revisión y edición.
-