

Artículo Original

SIMULACIÓN DE UNA BIORREFINERÍA PANELERA PARA LA DIVERSIFICACIÓN PRODUCTIVA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN PASTAZA

SIMULATION OF A PANEL SUGARCANE BIOREFINERY FOR THE PRODUCTIVE DIVERSIFICATION OF BAGASSE IN PASTAZA

Reni Danilo Vinocunga Pillajo^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-6698-7846>
Shirley Isamar Pomavilla Guaminga² <https://orcid.org/0000-0001-8261-0977>
Karel Diéguez Santana³ <https://orcid.org/0000-0003-4064-0566>
Estela Guardado Yordi¹ <https://orcid.org/0000-0002-0515-6720>
Amaury Pérez Martínez¹ <https://orcid.org/0000-0003-3978-7982>

¹ Universidad Estatal Amazónica. Puyo, Ecuador.

² Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

³ Universidad Regional Amazónica IKIAM. Tena, Ecuador.

Recibido: Noviembre 17, 2025; Revisado: Noviembre 28, 2025; Aceptado: Diciembre 11, 2025

RESUMEN

Introducción:

La producción de caña de azúcar y panela en Pastaza genera grandes volúmenes de bagazo con aprovechamiento limitado.

Objetivo:

El objetivo fue proponer alternativas de diversificación *in silico* de la producción de panela en la provincia de Pastaza, utilizando el bagazo de caña de azúcar como materia prima.

Materiales y Métodos:

Se estimó una disponibilidad de 179,42 t/d de bagazo y se modeló una biorrefinería panelera en *SuperPro Designer v9.0*, analizando entre 36 y 144 t/d con indicadores técnicos, económicos y de residuos.

Resultados y Discusión:

La simulación mostró balances de masa y energía coherentes con tecnologías 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: Reni D. Vinocunga, Email: rd.vinocungap@uea.edu.ec



segunda generación, con rendimiento de 260,1 g de etanol kg⁻¹ de bagazo seco. A partir de 63 t/d la rentabilidad se volvió positiva, y en 144 t/d se alcanzó margen bruto de 33,87 %, retorno de inversión de 32,35 % y recuperación en 3,09 años.

Conclusiones:

El escenario de 144 t/d ofrece la mejor combinación de rentabilidad y aprovechamiento de residuos, y el esquema propuesto se aproxima a un modelo de biorrefinería con enfoque de economía circular para el sector panelero de Pastaza.

Palabras clave: aprovechamiento energético; economía circular; procesos industriales; productos renovables.

ABSTRACT

Introduction:

Sugarcane and panela production in Pastaza generates large volumes of bagasse with limited utilization.

Objective:

The objective was to propose *in silico* diversification alternatives for panela production in the province of Pastaza, using sugarcane bagasse as raw material.

Materials and Methods:

An availability of 179.42 t/d of bagasse was estimated, and a panela biorefinery was modeled in *SuperPro Designer v9.0*, analyzing between 36 and 144 t/d with technical, economic and waste indicators.

Results and Discussion:

The simulation showed mass and energy balances consistent with second-generation technologies, with an ethanol yield of 260.1 g kg⁻¹ of dry bagasse. Profitability became positive from 63 t/d, and at 144 t/d a gross margin of 33.87 %, return on investment of 32.35 %, and payback period of 3.09 years were achieved.

Conclusions:

The 144 t/d scenario offers the best combination of profitability and waste utilization, and the proposed scheme approaches a biorefinery model with a circular economy focus for the panela sector in Pastaza.

Keywords: energy utilization; circular economy; industrial processes; renewable products.

1 INTRODUCCIÓN

La producción mundial de caña de azúcar indica que Brasil es el principal productor a nivel global, seguido por India, que concentra aproximadamente el 19 % de la producción total durante el período 2023/2024 (Abhiram et al., 2025). En Ecuador, de acuerdo con Herrera et al. (2022), la superficie cultivada de caña de azúcar se aproxima a 110 000 ha, de las cuales alrededor de 70 000 ha (63,6 %) se destinan a la producción de azúcar y cerca de 22 000 ha (20 %) a la obtención de etanol. El área restante corresponde principalmente a la elaboración de panela y alcohol artesanal.

La infraestructura de las 78 paneleras existentes en Pastaza es deficiente y depende de

tecnología tradicional (González et al., 2025). De cada tonelada de caña procesada se obtienen 95 kg de panela y 270 kg de bagazo (Castañón et al., 2015). Este residuo se acumula o se dispersa al aire libre sin tratamiento, lo que favorece la proliferación de microorganismos y genera pérdidas estructurales del material.

El bagazo de caña es una biomasa con alto valor potencial para la producción de bioetanol, biogás, furfural, ácido cítrico, levaduras, pulpa, tableros y fertilizantes (Wani et al., 2023). No obstante, su aprovechamiento en Pastaza es limitado por la falta de conocimiento técnico y capacitación de los productores. La baja diversificación productiva, sumada a la obsolescencia tecnológica, ha conducido a una crisis estructural en el sector panelero.

La diversificación o integración vertical se entiende como la creación de sinergias dentro de la cadena de valor, hacia adelante o hacia atrás, con el objetivo de incrementar los ingresos en un mismo mercado (Aguilar, 2017). Es una estrategia donde las empresas están jerárquicamente integradas para satisfacer de manera secuencial las necesidades del proceso productivo (Marchant et al., 2023).

El desarrollo tecnológico se sustenta en la simulación de procesos mediante la herramienta *SuperPro Designer*, que permite modelar operaciones industriales a través de ecuaciones matemáticas y principios termodinámicos (Casco et al., 2022). La simulación facilita la estimación de balances de masa y energía, costos, e impactos ambientales, reduciendo el trabajo experimental y el tiempo de diseño.

Atendiendo las premisas anteriores el objetivo fue proponer alternativas de diversificación *in silico* de la producción de panela en la provincia de Pastaza, utilizando el bagazo de caña de azúcar como materia prima.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Enfoque general de diversificación y simulación

Dentro de la propuesta se adoptó la estrategia de diversificación e integración vertical descrita por Casco et al. (2022), concebida como una alternativa para fortalecer la cadena de valor de la panela mediante nuevos productos derivados del bagazo, tales como ácido cítrico, etanol y energía por cogeneración. A partir de esta base estratégica se seleccionó la metodología de simulación de procesos planteada por Tuquerres et al. (2020), empleando el software *SuperPro Designer v9.0*.

2.2 Estimación de la disponibilidad de bagazo de caña

La capacidad de diseño se estimó a partir de la disponibilidad diaria de bagazo de caña en la provincia de Pastaza, considerando 4 500 ha útiles, un rendimiento promedio de 55 t/ha, 70 % de producción destinada a panela y 42 % de bagazo extraído en la molienda, siguiendo el criterio de Cerda et al. (2022), quienes calcularon la capacidad de producción en función de la caña procesada en zonas paneleras.

2.3 Configuración del modelo de pretratamiento del bagazo

En el pretratamiento del material lignocelulósico se tomó como referencia la tecnología propuesta por Gomes et al. (2022). El esquema incluye una etapa de acondicionamiento con lavado, molido, tamizado y transporte por tornillos, seguida de tres etapas de

hidrólisis: ácida, alcalina y enzimática. La hidrólisis ácida se aplicó con solución de H_2SO_4 al 1 % p/v en fibra seca, asociada a una conversión de glucosa del 70 %. La hidrólisis alcalina utilizó NaOH en solución sólida al 3 % p/v con conversión de 75 %, mientras que la hidrólisis enzimática empleó hidrolasas entre 10 y 15 % p/v y alcanzó una conversión de 79 %. De esta manera se obtuvieron corrientes de bagazo hidrolizado, furfural, xilosa y fracciones ricas en lignina que alimentan las rutas de ácido cítrico, etanol y cogeneración.

2.4 Recopilación y organización de los datos de entrada

Se estableció un modo semidiscontinuo de 8 760 h/año para procesos fermentativos y se incorporaron al simulador los componentes y reactivos con sus propiedades y costos. Se elaboró un diagrama de flujo con unidades de acondicionamiento, pretratamiento, producción y cogeneración. Finalmente, se definieron los parámetros operativos de cada equipo, incluyendo cinética, emisiones y requerimientos técnicos.

2.5 Parámetros de simulación y escenarios de capacidad

Se evaluaron parámetros técnicos del bagazo como humedad, tipo de pretratamiento, contenido de glucosa, rendimientos y concentraciones de productos principales y coproductos. Se consideró una disponibilidad teórica de 179,42 t/d, ajustada para analizar ocho capacidades entre 144 t/d y 36 t/d. Esta variación permitió determinar la escala mínima económicamente viable y la que ofrece mejor retorno de inversión. Además, se integró el análisis económico global para comparar la eficiencia del proceso productivo y energético.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Generación de la propuesta de la diversificación

El análisis de la superficie cultivada y de los parámetros de rendimiento permitió estimar una disponibilidad teórica de 179,42 t/d de bagazo, valor que sirvió como referencia para evaluar diferentes capacidades de procesamiento dentro del modelo de biorrefinería.

El esquema integra el acondicionamiento y el pretratamiento del bagazo de caña de azúcar como etapa previa a la diversificación propuesta. Durante el acondicionamiento, el bagazo se somete a lavado, molido, tamizado y transporte por tornillos, con separación de residuos de agua de lavado que reducen impurezas del material lignocelulósico (figura 1), en línea con los pretratamientos físicos descritos para bagazo panelero y azucarero (Guilherme et al., 2017).

siguiendo el esquema clásico de precipitación descrito por Pérez et al. (2016).

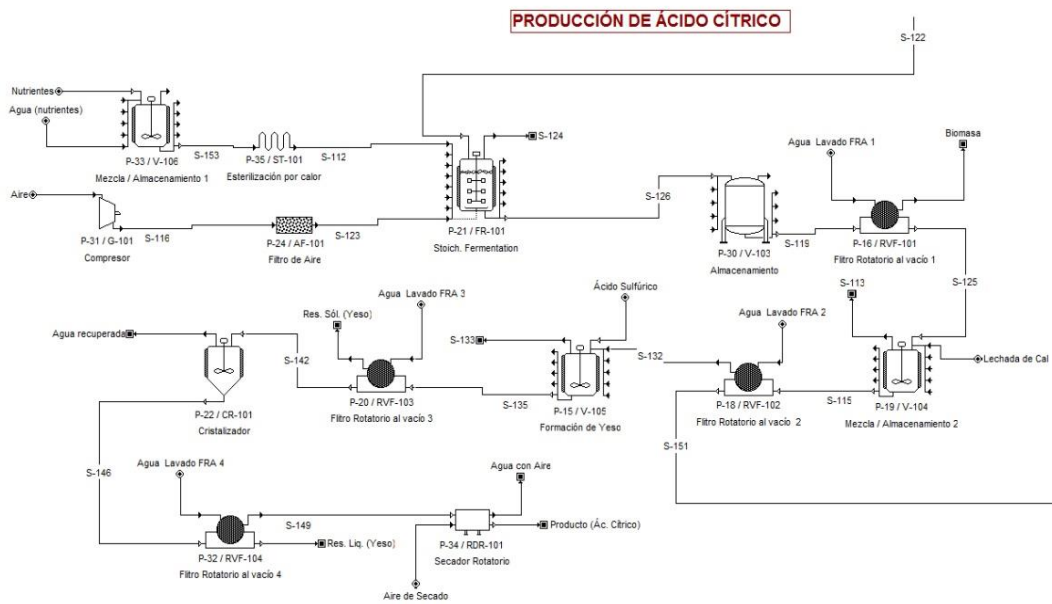


Figura 3. Producción de ácido cítrico a partir de bagazo hidrolizado

En la tecnología de cogeneración, corrientes de bagazo y partículas ricas en lignina provenientes del acondicionamiento se conducen a una caldera (Abreu et al., 2016), donde la combustión genera vapor de alta presión que alimenta una turbina para producir electricidad, vapor saturado y vapor a diferentes niveles de presión, recirculados al propio proceso, mientras las cenizas quedan como residuo sólido (figura 4).

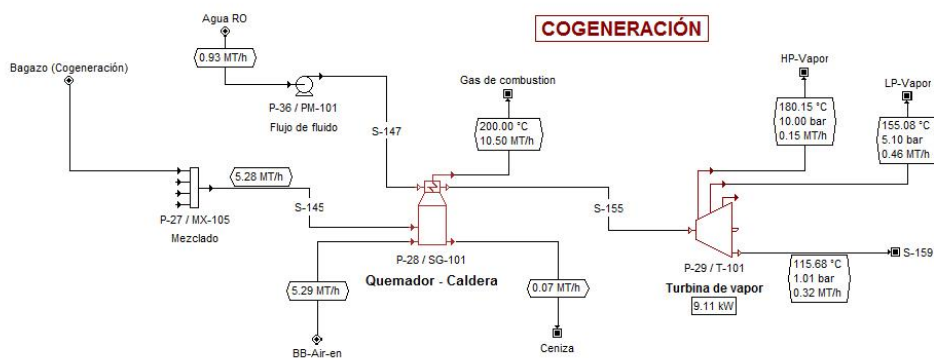


Figura 4. Cogeneración de energía a partir de bagazo de caña

La tecnología de producción de etanol parte del mezclado de la corriente que contiene los azúcares fermentables que no reaccionaron en la obtención de ácido cítrico (xilosa, glucosa y agua), los cuales se conducen a una etapa de pre fermentación aireada y luego a la fermentación principal con *Saccharomyces cerevisiae* (figura 5), generándose CO₂ como residuo gaseoso (Tuquerres et al., 2020).

Posteriormente, el caldo fermentado pasa a almacenamiento, intercambio de calor y a dos columnas de destilación en serie; la primera produce vinaza como residuo líquido y

la segunda recircula al intercambiador de calor para optimizar el uso de energía, hasta obtener etanol como producto final. Esta secuencia de hidrólisis–fermentación–destilación–separación permite lograr aproximadamente 260,1 g etanol por kg de bagazo seco, en concordancia con los esquemas de bioetanol lignocelulósico descritos por Hemansi & Saini (2023).

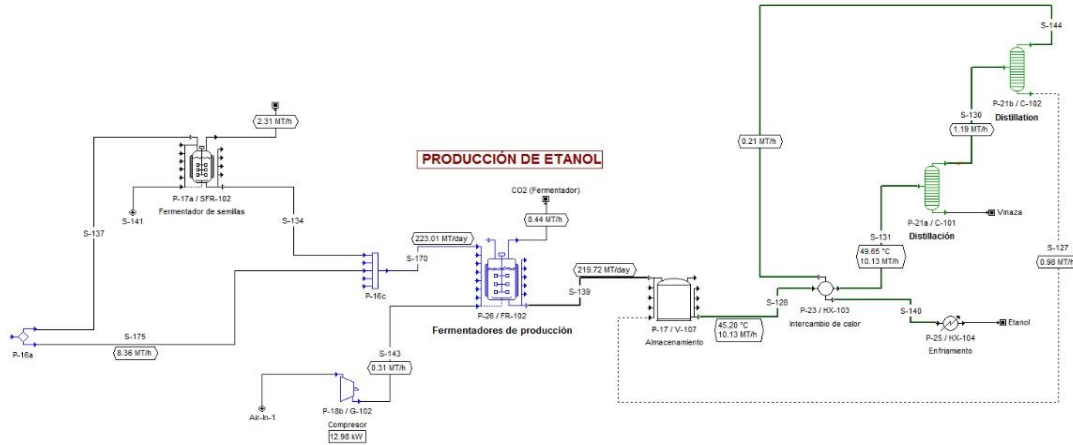


Figura 5. Producción de etanol a partir de azúcares fermentables

La tabla 1 presenta la distribución anual del bagazo alimentado al sistema para las diferentes capacidades de diseño evaluadas, así como su asignación entre las rutas de conversión a productos químicos y el sistema de cogeneración. Adicionalmente, se muestran las cantidades anuales estimadas de yeso, ácido cítrico, etanol y furfural obtenidas a partir del bagazo destinado a procesos, junto con la energía eléctrica generada por la turbina de vapor en el esquema de cogeneración.

Tabla 1. Distribución anual del bagazo y producción de coproductos en función de la capacidad de diseño

Corriente	Capacidad (t/d)							
	36	54	63	72	90	108	126	144
Bagazo alimentado al sistema (t/año)	11880	17820	20790	23760	29700	35640	41580	47520
Bagazo para procesos (t/año)	7920	11880	13860	15840	19800	23760	27720	31680
Bagazo para cogeneración (t/año)	3960	5940	6930	7920	9900	11880	13860	15840
Yeso (t/año)	2333,6	3500,4	4083,8	4667,2	5834	7000,8	8167,6	9334,4
Ácido cítrico (t/año)	1536,6	2305	2689,2	3073,4	3841,7	4610	5378,4	6146,7
Etanol (t/año)	418,07	627,11	731,63	836,15	1045,2	1303,4	1454,7	1672,3
Furfural (t/año)	2033,5	3050,3	3558,7	4067,1	5083,8	6100,6	7117,4	8134,1
Turbina de vapor – cogeneración (kW-h/año)	7038	13908	17888	22178	31504	41412	53081	64963

3.2 Evaluación económica y análisis de rentabilidad del modelo de diversificación

En la figura 6 se observa que el costo del equipamiento, correspondiente al conjunto completo de operaciones de la biorrefinería, que incluye pretratamiento, fermentación, destilación y cogeneración, aumenta de 3,95 a 5,38 millones USD entre 36 y 144 t/d. La inversión total pasa de 20,02 a 27,26 millones USD, con un incremento casi proporcional a la capacidad instalada. Este comportamiento confirma que el capital fijo depende en gran medida del tamaño de las unidades de pretratamiento, fermentación y destilación (Casco et al., 2022) y muestra la influencia del equipamiento y la infraestructura dentro del capital total del proyecto.

En contraste, el costo de operación anual muestra una pendiente más pronunciada: pasa de 9,27 millones USD con 36 t/d a 20,97 millones USD con 144 t/d, con una contribución dominante de materias primas y servicios auxiliares. Este comportamiento coincide con análisis donde los insumos químicos, enzimas y energía explican gran parte de los costos variables en biorrefinerías (Gutiérrez et al., 2020).

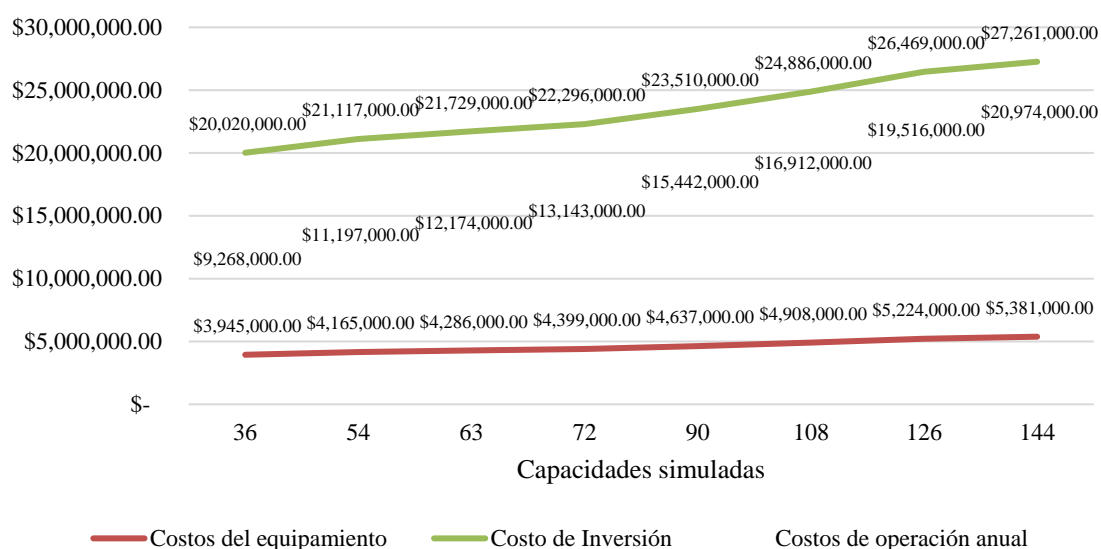


Figura 6. Relación entre capacidad de procesamiento y costos de inversión y operación

3.3 Análisis medioambiental

Dentro de la propuesta de diversificación se evaluó el comportamiento ambiental a partir de las corrientes residuales y su costo de eliminación. El costo anual total de tratamiento crece desde 735 341 USD con 36 t/d hasta 2 941 364 USD con 144 t/d de bagazo, asociado al aumento de residuos sólidos, líquidos y gaseosos procesados. Corrientes acuosas y orgánicas constituyen la principal carga: el residual de lavado pasa de 2 149 a 8 596 t/año, los líquidos con lignina de 0,50 a $2,00 \times 10^6$ kg/año y las vinazas de $1,77 \times 10^7$ a $7,08 \times 10^7$ kg/año, mientras la biomasa húmeda alcanza hasta $2,36 \times 10^7$ kg/año. Aunque la ceniza sólida y las emisiones de CO₂ presentan menores costos unitarios, el volumen de gases de combustión supera $8,31 \times 10^7$ kg/año en la capacidad máxima, por lo que requiere control adecuado.

La gestión ambiental se orienta a transformar parte de estas corrientes en insumos internos o subproductos. El residual de lavado se destina a fertirriego, líquidos con lignina y partículas de bagazo se dirigen a la caldera de cogeneración, agua recuperada

retorna a etapas de cristalización y lavado y fracciones de etanol e hidrolasas vuelven al pretratamiento mediante recirculación. Las cenizas se proponen como abono agrícola y la biomasa húmeda como alimento animal, lo que reduce volúmenes para disposición final. Las emisiones de CO₂ provenientes de fermentación, pre fermentación y combustión se canalizan mediante venteo controlado y se consideran parcialmente compensadas por la captación de carbono en los cañaverales. Adicionalmente, el furfural y el yeso se tratan como subproductos con potencial comercial y no como desechos, de modo que la propuesta se aproxima a un esquema de economía circular dentro de la cadena panelera.

3.4 Indicadores económicos de la diversificación

En la tabla 2 con 36 t/d el margen bruto es negativo (-16,89 %) y la TIR es nula. Con 54 t/d el VAN sigue siendo negativo, lo que indica que la planta no recupera el capital a la tasa de descuento establecida. A partir de 63 t/d el VAN se vuelve positivo y el margen bruto supera el 12 %, con una TIR de 8,52 % y un periodo de recuperación inferior a ocho años. La capacidad de 144 t/d presenta el mejor desempeño, con margen bruto de 33,87 %, retorno de la inversión de 32,35 %, TIR de 24,92 % y periodo de recuperación de 3,09 años. Este comportamiento coincide con biorrefinerías de caña, donde la rentabilidad mejora de forma marcada al aumentar la escala y aprovechar economías de tamaño y sinergias entre productos y coproductos (Aguilar, 2019; Bressanin et al., 2021).

Tabla 2. Indicadores económicos en función de la capacidad de procesamiento de bagazo

<i>Indicador</i>	<i>Capacidad (t/d)</i>							
	<i>36</i>	<i>54</i>	<i>63</i>	<i>72</i>	<i>90</i>	<i>108</i>	<i>126</i>	<i>144</i>
Margen bruto (%)	-16,89	5,86	12,26	17,12	22,10	28,90	29,68	33,87
Retorno de la inversión (%)	2,63	10,86	13,58	16,19	20,01	25,42	27,44	32,35
Periodo de recuperación (años)	38,02	9,21	7,36	6,18	5,00	3,93	3,64	3,09
TIR (%)	0	5,08	8,52	11,02	14,77	19,45	21,17	24,92
VAN (\$)	0	-3125000	2686000	7786000	16859000	30659000	37899000	51897000

4. CONCLUSIONES

1. La simulación de la biorrefinería panelera basada en bagazo de caña de azúcar en Pastaza muestra que la diversificación hacia ácido cítrico, etanol y cogeneración es técnicamente viable y permite tener una disponibilidad de 179,42 t/d de bagazo con balances de masa y energía consistentes con tecnologías de segunda generación.
2. La evaluación económica evidencia que las capacidades de 36 y 54 t/d no resultan atractivas, debido al margen bruto negativo en 36 t/d y valor actual neto desfavorable en 54 t/d. A partir de 63 t/d el proyecto alcanza valor actual neto positivo y mejora progresiva del retorno de la inversión.

3. La capacidad de 144 t/d se consolida como el mejor escenario de inversión, con margen bruto de 33,87 %, retorno de la inversión de 32,35 %, tasa interna de retorno de 24,92 % y periodo de recuperación de 3,09 años, parámetros que ubican a la propuesta dentro de un rango atractivo de rentabilidad para el sector panelero.
4. El análisis ambiental confirma incrementos en corrientes residuales líquidas, sólidas y gaseosas a mayor capacidad; sin embargo, la recirculación de agua, el uso de vinazas, lignina y bagazo en cogeneración, así como la valorización de yeso y furfural como subproductos, favorecen un esquema cercano a economía circular y reducen la presión sobre los sistemas de tratamiento y disposición final.

REFERENCIAS

- Abhiram, G., Gopalasingam, T., & Inthujan, J. (2025). Enhancing Sustainability in Sugarcane Production Through Effective Nitrogen Management: A Comprehensive Review. *Nitrogen*, 6(3), 69. <https://doi.org/10.3390/nitrogen6030069>
- Abreu, H., González, M., Rico, O., Morales, M., & Espinosa, R. (2016). Evaluación de esquemas de cogeneración de energía a partir de bagazo de caña de azúcar. *Centro Azúcar*, 43(1), 87-98. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612016000100010&lng=es&tlng=es
- Aguilar, N. (2019). A framework for the analysis of socioeconomic and geographic sugarcane agro industry sustainability. *Socio-Economic Planning Sciences*, 66, 149-160. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.07.006>
- Aguilar, N. (2017). Estrategias metodológicas para el análisis de la reconversión y diversificación productiva de regiones cañeras. *Cuadernos Geográficos*, 56(1), 172-192. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/3936>
- Bressanin, J. M., Geraldo, V. C., Gomes, F. d. A. M., Klein, B. C., Chagas, M. F., Watanabe, M. D. B., Bonomi, A., Morais, E. R. d., & Cavalett, O. (2021). Multiobjective optimization of economic and environmental performance of Fischer-Tropsch biofuels production integrated to sugarcane biorefineries. *Industrial Crops and Products*, 170, 113810. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113810>
- Casco, G. M., Diéguez, K., Sarduy, L., Vinocunga, R. D., Pomavilla, S. I., & Pérez, A. (2022). Diseño del proceso de obtención de bioetanol carburante mediante hidrólisis enzimática del bagazo de caña en Pastaza. *Centro Azúcar*, 49(2), 35-46. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612022000200035&lng=es&tlng=es
- Castañón, J. F., Welti, J., Palacios, A. J., Torrestiana, B., Ramírez, J. A., Velázquez, G., & Aguilar, M. G. (2015). Influence of high pressure processing and alkaline treatment on sugarcane bagasse hydrolysis. *CyTA - Journal of Food*, 13(4), 613-620. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1029523>
- Cerda, V., Yordi, E., Cerda, G., Vinocunga, R. D., Perez, A., & González, E. (2022). Procedure for the determination of operation and design parameters considering
-

- the quality of non-centrifugal cane sugar. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 16(31), 43-50. <https://doi.org/10.31908/19098367.2659>
- Gomes, Z. M., Gálvez, L., Gómez, A. M., Julián, M. C., & Ramos, L. B. (2022). Análisis de alternativas tecnológicas de producción de bioetanol a partir de bagazo de caña. *Centro Azúcar*, 49(2), 15-25. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612022000200015&lng=es&tlng=es
- González, V., Albán, M. J., González, J., & Hidalgo, I. (2025). Estudio energético del proceso de obtención de panela en dos variedades de *Saccharum officinarum* L. (caña de azúcar) en la Amazonía Ecuatoriana. *TecnoLógicas*, 28(62), e3197. <https://doi.org/10.22430/22565337.3197>
- Guilherme, A. d. A., Dantas, P. V. F., Soares, J. C. J., Santos, E. S. d., Fernandes, F. A. N., & Macedo, G. R. d. (2017). Pretreatments and enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse aiming at the enhancement of the yield of glucose and xylose. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 34(4). <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20170344s20160225>
- Gutiérrez, A. R., Guirola, C., de Armas, A. C., Albernas, Y., & Villanueva, G. (2020). Valorización de la lignina en el concepto de biorrefinería (I). *Revista Centro Azúcar*, 47(3), 95-105. https://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/593
- Hemansi, & Saini, J. K. (2023). Enhanced cellulosic ethanol production via fed-batch simultaneous saccharification and fermentation of sequential dilute acid-alkali pretreated sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 372, 128671. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128671>
- Herrera, C., Mora, C., Arteaga, G., López, A., & Carrión, P. (2022). Analysis of sugarcane ethanol production for energy development: Case study Ecuador. *International Journal of Energy Production and Management*, 7(4), 293-309. <https://doi.org/10.2495/EQ-V7-N4-293-309>
- Marchant, S., King, A., & Améstica, L. (2023). Influencia de la estrategia de diversificación sobre el desempeño financiero de las empresas durante los ciclos económicos en Chile. *Cofin Habana*, 17(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2073-60612023000200002&lng=es&tlng=es
- Pérez, O., Ley, N., Rodríguez, K. R., & González, E. (2016). Oportunidades de producción de ácido cítrico por vía fermentativa a partir de sustratos azucarados en Cuba. *Centro Azúcar*, 43(2), 85-100. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612016000200009&lng=es&tlng=es
- Tuquerres, H., Cerda, G., Tenemasa, V., Diéguez, K., Carrera, K., & Pérez, A. (2020). Process design to obtaining citric acid from the sugarcane bagasse available in Pastaza, Ecuador. *Centro Azúcar Journal*, 47(2), 86-96. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/202
- Wani, A. K., Rahayu, F., Fauziah, L., & Suhara, C. (2023). Advances in safe processing of sugarcane and bagasse for the generation of biofuels and bioactive compounds. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12, 100549.
-

<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100549>

Yaverino, M. A., Ramos, L., Ascencio, J. J., & Chandel, A. K. (2024). Enhanced Production of Clean Fermentable Sugars by Acid Pretreatment and Enzymatic Saccharification of Sugarcane Bagasse. *Processes*, 12(5), 978.

<https://doi.org/10.3390/pr12050978>

Zhang, H., Zhang, J., Xie, J., & Qin, Y. (2020). Effects of NaOH-catalyzed organosolv pretreatment and surfactant on the sugar production from sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 312, 123601.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123601>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Reni Danilo Vinocunga-Pillajo. Conceptualización, redacción - revisión y edición.
 - M.Sc. Shirley Isamar Pomavilla Guaminga. Redacción - primera redacción, metodología.
 - Dr.C. Karel Diéguez Santana. Investigación, metodología.
 - Dr.C. Estela Guardado Yordi. Redacción - revisión y edición.
 - Dr.C. Amaury Pérez Martínez. Conceptualización, supervisión.
-