



Obtención de bioetanol carburante a partir del lactosuero en la provincia de Chimborazo utilizando Super Pro designer

Danilo Reni Vinocunga-Pillajo¹

rd.vinocungap@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6698-7846>

Universidad Estatal Amazónica
Ecuador

Fabiola Maribel Jiménez Tamayo

fm.jimenezt@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-4995-7922>

Universidad Estatal Amazónica
Ecuador

Carlos Alfonso Sánchez Vallejo

casanchez@espoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5411-966X>

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Ecuador

Aida Salomé Romero Vistín

as.romerov@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9942-9947>

Universidad Estatal Amazónica
Ecuador

RESUMEN

La producción de queso implica la generación de grandes cantidades de lactosuero cuando este residuo es vertido directamente en el ambiente provoca contaminación debido a la alta demanda de oxígeno. El lactosuero contiene lactosa un azúcar fermentable del cual se puede obtener bioetanol carburante mediante un conjunto de etapas unitarias. El objetivo del presente trabajo fue simular la producción de bioetanol carburante en *SuperPro Designer V 8.5*, para lo cual se utilizó etapas secuenciales en el diseño del proceso. Se establecieron 4 capacidades de (18 000, 22 000, 26 000 y 32 000) L de suero. La identificación del proceso tecnológico consta de almacenamiento, centrifugación, adición de polvo de suero, fermentación, calentamiento, destilación y deshidratación por separación cromatográfica, además, se identificó una capacidad máxima tentativa en la región de 32 438,37 L/día de lactosuero. La simulación permitió reconocer el flujo 30 000 L/día como la mejor alternativa económica.

Palabras clave: *diseño de proceso; indicadores económicos; simulación.*

¹ Autor principal.

Correspondencia: rd.vinocungap@uea.edu.ec

Obtaining fuel bioethanol from whey in the province of Chimborazo using Super Pro designer

ABSTRACT

Cheese production involves the generation of big amounts of whey when this residue is dumped directly into the environment causes pollution due to the high demand for oxygen. Whey contains lactose, a fermentable sugar from which bioethanol fuel can be obtained through a set of unit steps. The objective of this work was to simulate the production of fuel bioethanol in SuperPro Designer V 8.5, for which sequential stages were used in the design of the process. Four capacities of (18,000, 22,000, 26,000 and 32,000) L of whey were established. The identification of the technological process consists of storage, centrifugation, addition of whey powder, fermentation, heating, distillation and dehydration by chromatographic separation, in addition, a tentative maximum capacity was identified in the region of 32 438.37 L/day of whey. The simulation allowed to recognize the flow 30 000 L/day as the best economic alternative.

Keywords: *process design; economic indicators; simulation.*

Artículo recibido 20 junio 2023

Aceptado para publicación: 20 julio 2023

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de suero (lactosuero) es de aproximadamente de 19 010 toneladas al año, debido a la generación de entre 8–9 kg de residuo por 1–2 kg de queso (Baldasso et al., 2011). En los últimos 50 años la mitad de la producción mundial de suero se vierte como desecho en el medio ambiente (Sar et al., 2017). Aunque se producen cantidades considerables de vertidos líquidos este producto es considerado como parte integral de la industria de procesamiento de alimentos. El lactosuero es el remanente líquido posterior a la precipitación y eliminación de la caseína de la leche producido durante la manufactura de queso fresco, mozzarella, ricota, parmesano, etc (Das et al., 2016).

En Ecuador el lactosuero es considerado como un coproducto de desecho de poco interés, por lo tanto, se utiliza como alimento para animales o es descargado en fuentes de agua o alcantarillados ocasionando un grave problema de contaminación debido a una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) de 30 000-50 000 ppm y 60 000-80 000 ppm respectivamente (Ahmad et al., 2019). Por otro lado, según Das et al. (2016), la inmensa capacidad contaminante del lactosuero se debe principalmente a la presencia de lactosa, ya que la recuperación de la proteína del lactosuero reduce su DQO en apenas 10 000 ppm, sin embargo, más del 75 % de la carga de DBO del suero se puede reducir mediante la bioconversión de la lactosa del suero en bioetanol.

La evolución del proceso de fermentación del etanol y la creciente preocupación por las tecnologías respetuosas con el medio ambiente están estimulando la investigación de nuevas estrategias para la generación de energía en particular con respecto a las fuentes alternativas renovables (Llenque-Díaz et al., 2020). El costo de producción de bioetanol está íntimamente relacionado y es dependiente del costo de la materia prima (MP) y del volumen. Estas premisas no representan problemas cuando la MP se obtiene como coproducto de la elaboración de queso (Monroy et al., 2017), es así, que la producción de bioetanol a partir del suero mitiga los procesos de tratamiento de efluentes complejos y costos necesarios para la eliminación de este residuo. Este proceso se ve impulsado por la creciente demanda de bioetanol a nivel mundial como una alternativa a los combustibles fósiles que son altamente contaminantes y de suministro limitado (Pérez-Fernández et al., 2017).

En la literatura existen números materias primas empleadas para la obtención de bioetanol, por ejemplo, autores como Casco-Méndez et al. (2022), utilizan el bagazo de caña de azúcar mediante hidrólisis

enzimática para obtener este producto. Por otro lado, Kumar and Singh (2016), desarrollaron procedimientos de molienda en seco utilizando maíz con amilasa y levadura superior para reducir los requisitos de enzimas exógenas, Mientras, autores como Koushki et al. (2012), experimentaron a escala de laboratorio la producción de bioetanol por *Kluyveromyces marxianus* (cepa ATCC8554) y *Candida kefyr* (cepa ATCC 14245) a partir de lactosuero. El problema durante la producción de biocombustible radica en la fermentación directa de suero de queso porque se obtiene una baja concentración de etanol debido al poco contenido de lactosa, por lo tanto, se han utilizado procesos de ultrafiltración (UF) para concentrar la lactosa antes de la fermentación. La UF aumenta la concentración de lactosa en un factor de 5 a 6 pero esta operación unitaria representa un elevado costo económico. Otro método para aumentar el contenido de lactosa en el suero es mediante la adición de polvo de lactosuero, siendo esta técnica económica en comparación con el UF (Dragone et al., 2011).

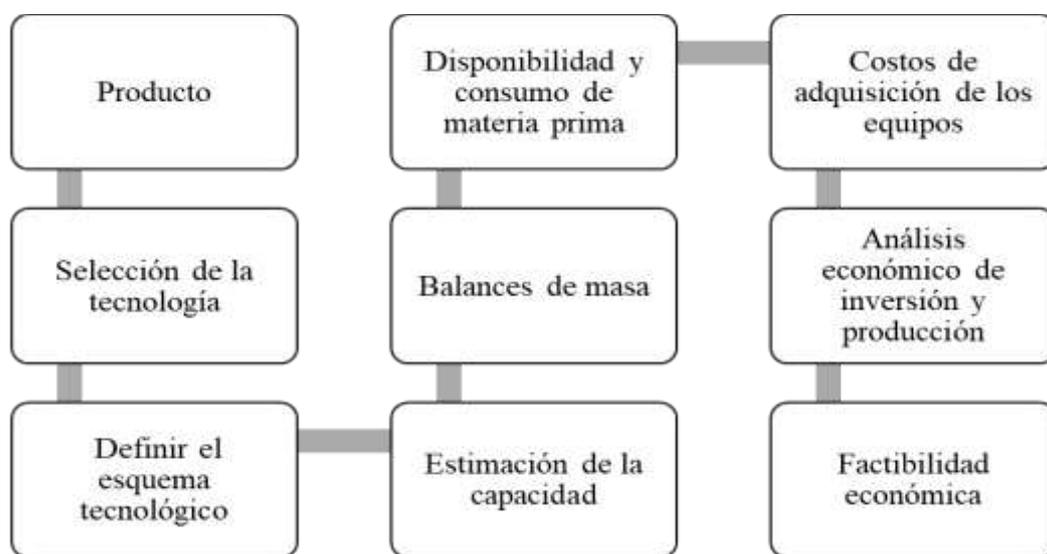
Aunque se ha demostrado que la bioconversión de suero a etanol es un medio eficaz para reducir el excedente de suero producido, la eficacia y la implementación de la producción de etanol a partir de suero no es extensiva industrialmente, por lo tanto, la simulación de procesos (SP) es de gran importancia. La SP es un conjunto técnicas que permiten proyectar, evaluar y contemplar procesos nuevos o ya existente sin el coste y los riesgos que supone hacerlo en un entorno real, es decir, ayuda a mejorar la productividad, el rendimiento y la calidad del producto de forma fiable y económica (Ma et al., 2015). En la actualidad se encuentran disponibles potentes paquetes de simulación de procesos que se adaptan fácilmente a computaras convencionales siendo unos de los más conocidos el programa *SuperPro Designer*. Este software para modelado, evaluación y optimización de procesos integrados fue creado particularmente para simular operaciones unitarias en bioprocesos. Por lo tanto, puede manejar esquemas tanto de procesamiento continuo como por lotes. Además, el software es aplicable en todas las etapas del desarrollo de un proceso, desde el diseño conceptual inicial hasta la operación y optimización del proceso ya implementado (Athimulam et al., 2006).

Atendiendo las premisas anteriores el objetivo del presente trabajo fue simular el proceso tecnológico de la obtención de bioetanol carburante a partir de suero de queso en el software *SuperPro Designer V 8.5*, para lo cual, se plantea estudiar la influencia del volumen de producción respecto a un precio fijo.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se realizó mediante la metodología expuesta por Pérez-Martínez et al. (2012). Esta técnica permite definir y establecer características en el diseño de plantas. Este procedimiento ha sido ampliamente empleado en la obtención de productos a partir de residuos agroindustriales por ejemplo Curipallo et al. (2020), obtuvo ácido cítrico a partir del bagazo de caña, mientras Casco-Méndez et al. (2022), produce bioetanol carburante con el residuo mencionado anteriormente. Las etapas secuenciales de la metodología empleada presentan un comportamiento secuencial (figura 1).

Figura 1. Pasos secuenciales del diseño del proceso.



Adaptado de Cerda-Mejía et al. (2022).

Producto

En esta etapa se caracteriza el producto seleccionado mediante aspectos como la calidad y la demanda. La determinación de la calidad se puede realizar de manera experimental o mediante un análisis bibliográfico. En este trabajo se realizó por el método dos mencionado.

Selección de la tecnología

Durante esta etapa se realiza una revisión bibliográfica del proceso tecnológico del producto estudiado. El objetivo de esta revisión es reconocer y comparar tecnologías en la producción del producto.

Definir el esquema tecnológico

A partir del proceso tecnológico de la etapa anterior se define el esquema tecnológico para lo cual se debe tomar en cuenta la viabilidad técnica y económica durante la producción.

Estimación de la capacidad de la planta

En este paso se debe establecer la capacidad de la planta inicial de producción. Existen dos técnicas para determinar la capacidad la primera es mediante la demanda del producto en el mercado, el segundo método se realiza a partir de la cantidad de la materia prima identificada en la zona de estudio.

Balances de masa

Se debe determinar el flujo volumétrico en los equipos o el rendimiento del producto, posteriormente este resultado será esencial para el dimensionamiento de los equipos en el proceso tecnológico.

Disponibilidad y consumo de materia prima

Durante esta etapa se debe comparar la disponibilidad y el consumo de materias primas con el objetivo de un correcto funcionamiento y una disminución en los costos de transporte. El consumo de materia prima debe ser menor que la disponibilidad caso contrario se debe fijar una capacidad nueva.

Costos de adquisición de los equipos

A partir de los resultados de los balances de masa se dimensiona los equipos posteriormente el costo de cada uno de estos. Según Cerda et al. (2020) otro factor a considerar es el área de transferencia en las operaciones unitarias donde exista un intercambio de calor.

Análisis económico de inversión y producción

Se determinan los costos de inversión, de operación y de producción de la planta. Los costos calculados permitan obtener los indicadores económicos como Valor actual neto (VAN), Periodo de Recuperación Descontada (PRD) y Tasa Interna Recuperación (TIR).

Factibilidad económica

Durante esta etapa se identifica la mejor factibilidad económica mediante VAN, PRD y TIR, además, se deben considerar aspectos técnicos.

Consideraciones para el diseño de procesos

Se establecieron 4 capacidades de (18 000, 22 000, 26 000 y 32 000) L la composición inicial del lactosuero se fijó según Poveda (2013). El precio de bioetanol se estableció en 2.20 \$ el litro según Secretaría de Energía de Argentina (2018). La simulación se llevó a cabo en el software *SuperPro Designer V 8,5* en donde el proceso tecnológico de la producción de bioetanol carburante se estableció mediante Sarkar et al. (2016) y la estequiometría de la fermentación alcohólica a partir de la lactosa

según Liu et al. (2016). El modo de operación de la simulación fue determinista en batch (lote). Se estableció una tasa de interés de 7% para determinar el VAN y un 35% de impuestos por concepto de ingresos Benítez-Cortés et al. (2018). Además, se asumió que se trabaja durante 49 semanas al año y 4 semanas destinadas al mantenimiento de las instalaciones, equipos, capacitación al personal, etc.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producto

El bioetanol sirve como alternativa prometedora como biocombustible neutro en carbono. Además, presenta ventajas como un alto octanaje (108), un bajo punto de ebullición y un mayor calor de vaporización (Sindhu et al., 2019). La gasolina mezclada con hasta un 85 % (v/v) de bioetanol se puede utilizar en vehículos sin modificar el motor existente. La combinación de bioetanol y gasolina puede reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, así como el uso de petróleo (Dahman et al., 2019). Según Radovanović (2023), una combinación de 85 % de etanol y 15 % de gasolina puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero entre un 60 % y un 80 % en comparación con la gasolina pura, mientras, que una mezcla de 10 % de etanol y 90 % de gasolina reduce las emisiones hasta en un 8 %. La cifra exacta depende de la materia prima utilizada para fabricar el etanol.

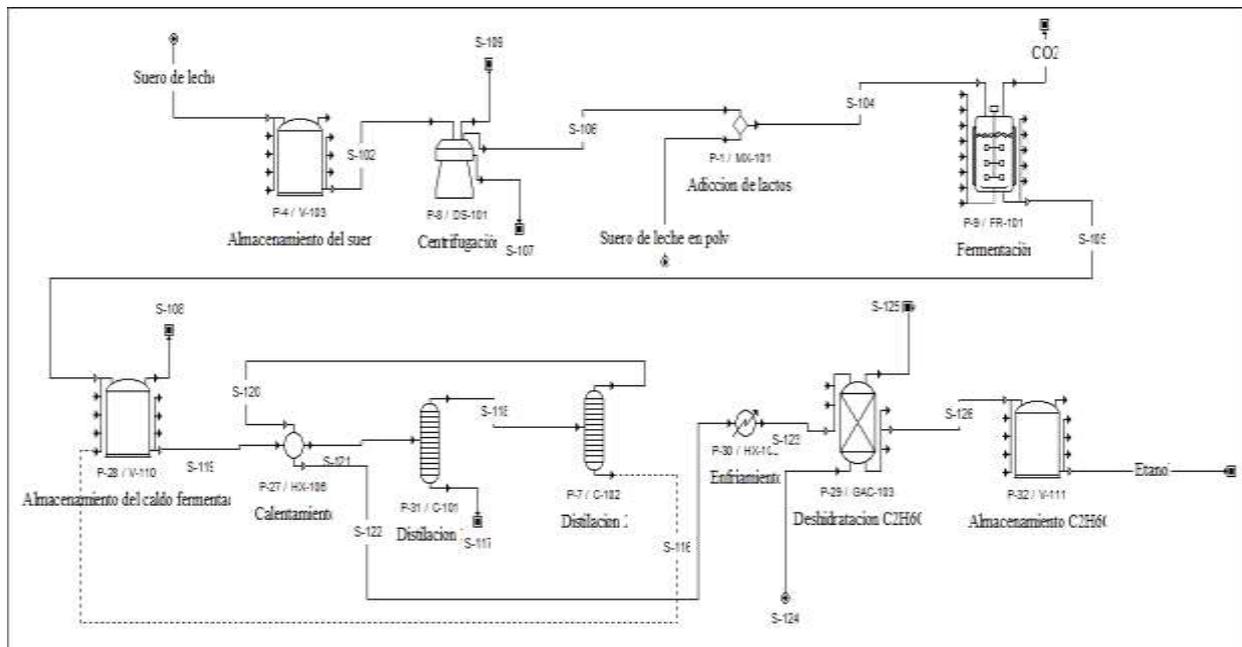
Selección de la tecnología

La producción directa de bioetanol a partir de suero no es económico rentable, por lo cual, se requiere concentrar la lactosa. Autores como Glutz (2009), realizan un pretratamiento, fermentación, ultrafiltración, destilación y deshidratación. Durante la ultrafiltración las unidades de nanofiltración retienen las proteínas del suero y concentran el permeado de lactosa en un 17% - 22%. Otra ventaja de concentrar el sustrato radica en la reducción de los volúmenes de trabajo, ya que se utiliza agua innecesaria descartado. Por otro lado Dragone et al. (2011), menciona que la etapa unitaria de UF conlleva elevados costos, por lo tanto, establece remplazar esta operación con la adición de polvo de suero de leche desproteinizado.

Definir el esquema tecnológico

Una vez obtenido la MP para la producción de bioetanol carburante durante la etapa desuerado se realiza un almacenamiento (figura 2), luego se procede con una centrifugación con el objetivo de separar el porcentaje de lípidos en el lactosuero. La siguiente operación unitaria es la fermentación, pero debido a los bajos niveles de lactosa en la MP se adiciona polvo de suero de leche desproteinizado hasta alcanzar 150 kg/m^3 de este azúcar, en cambio, la concentración del inóculo de *Kluyveromyces fragilis* a razón de $1\text{--}3 \text{ kg/m}^3$ (Dragone et al., 2011). A continuación, el caldo fermentado es calentado, seguidamente es sometido al primer proceso de destilación en donde se obtienen las vinazas, inmediatamente el producto del primer destilado entra a una etapa de rectificación que recircula en el intercambiador de calor, después el alcohol obtenido es enfriado. Finalmente, para obtener un bioetanol de 99% se realiza un proceso tecnologico de deshidratación por separación cromatográfica (Casco-Méndez et al., 2022).

Figura 2. Diagrama de la obtención de bioetanol carburante a partir del lactosuero de queso.



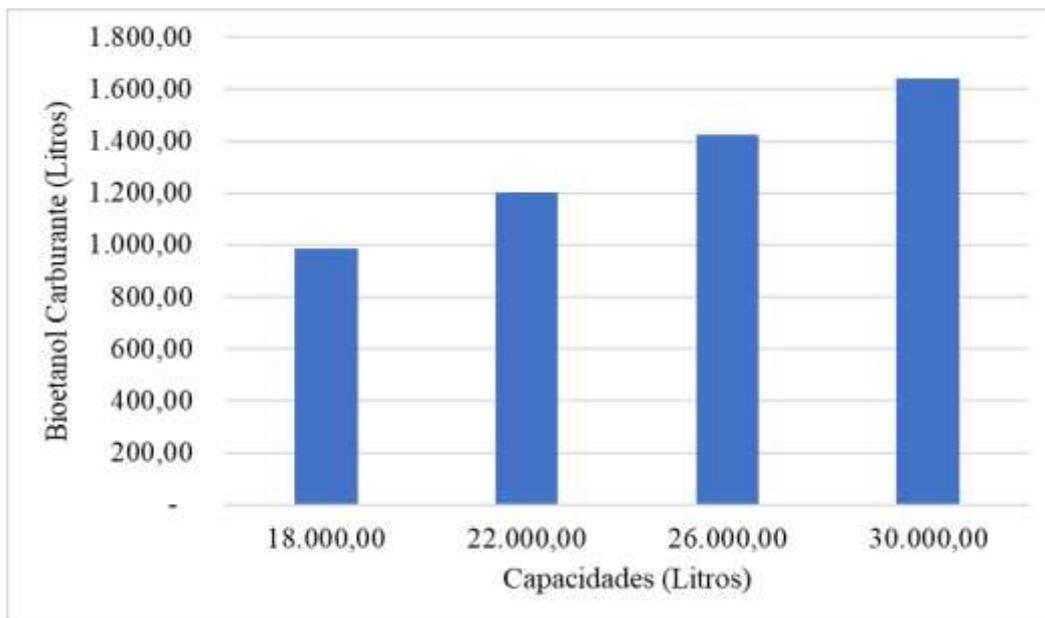
Estimación de la capacidad de la planta y balances de masa

La provincia de Chimborazo posee un territorio megadiverso debido a su ubicación geográfica que converge con las regiones de la Sierra, Costa y Amazonia, siendo la actividad bovina la principal actividad productiva del sector rural. Según el INEC (2019), se producen 787 108 L de leche/día se

considera esta cantidad como el 7 % de la leche a nivel nacional, por otro lado, Villegas-Soto et al. (2017) menciona que el 40 % de la leche en esta región Andina se convierte en queso. Tomando en cuenta que durante la producción se genera un 80% de residuo de lactosuero se tiene un volumen aproximado de suero de aproximadamente de 32 438,37 L/día. En Ecuador el precio de lactosuero es de 0,02 \$/L, aunque se prohíbe la comercialización de este residuo en las instalaciones que no cuenten con certificado vigente de Buenas Prácticas de Manufactura registrado en el ARCSA Acuerdo Interministerial Nro 177 (2019).

Los flujos volumétricos de la producción de las 4 capacidades muestran un comportamiento creciente (figura 3). Se identifica un rendimiento de aproximadamente de 5,5 % en comparación con el estudio de Gabardo et al. (2014) el porcentaje concuerda con el presente trabajo, debido principalmente a la adición de lactosuero en polvo durante el proceso tecnológico.

Figura 3. Producción de bioetanol carburante en las 4 capacidades.



Disponibilidad y consumo de materia prima

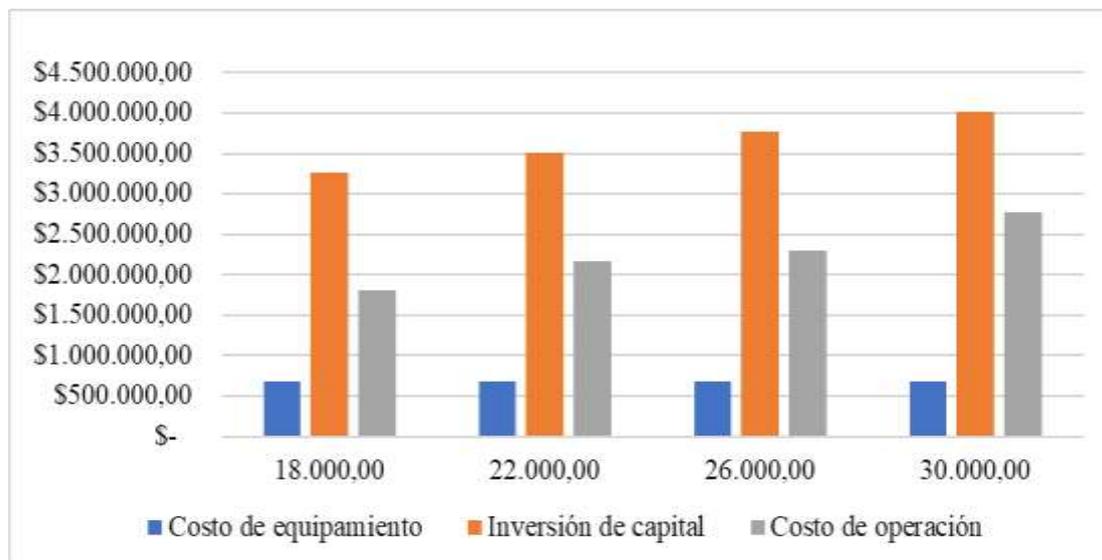
En anteriores epígrafes se identificó una disponibilidad de 32 438,37 L/día de suero y el consumo máximo de materia prima en la simulación fue de 30 000 L/día, es decir, existe la disponibilidad para el funcionamiento de la planta producción de bioetanol carburante.

Costos del equipamiento, inversión de capital y producción

El costo de equipamiento se estableció a partir de la máxima capacidad de 30 000 L dando un valor de

adquisición de \$ 689 000, según Casco-Méndez et al. (2022), la dimensión es el principal factor a considerar en el costo del equipamiento tecnológico. Respecto a la inversión de capital se toman en consideración los costos directos e indirecto, además, del costo total de la planta y la contingencia del contratista. En la figura 4 se visualiza un comportamiento lineal ascendente en las 4 capacidades en la inversión del capital, siendo este resultado similar al expuesto Vinocunga-Pillajo et al. (2023) en el diseño de una planta en la misma región. El costo de operación de la simulación bioetanol carburante presento un valor \$ 1 803 595,00 para la mínima capacidad mientras para la máxima capacidad fue de \$2 776 930,00 (figura 4). No se analizan costos de operación mayor a 30 000,00 L porque en la Provincia solo existe una disponibilidad de 32 000,00 de lactosuero.

Figura 4. Costos del equipamiento, inversión de capital y producción.



Factibilidad económica

En la tabla 1 se muestra los indicadores económicos para los 4 flujos volumétricos estudiados, se visualiza que la capacidad de 18 000 L no es económica factible debido al Valor actual neto (VAN) negativo noción que es afirmada por Cerda et al. (2020). Mientras que la capacidad de 22.000 L sigue siendo no factible porque el Periodo de Recuperación Descontada (PRD) es de 7.74 años, ya que para Vinocunga-Pillajo et al. (2023) el PRD debe ser menor a 3 años. Analizando la simulación de 26 000 L y 30 000 L de suero esta sigue siendo superior a 3 años, pero la Tasa Interna Recuperación (TIR) en la última capacidad es de 36.47 % siendo este valor un buen indicador de rentable económica según Mellichamp (2017), además, en esta simulación se presentó el mayor VAN de 1 030 300 \$.

Tabla 1. Indicadores económicos de la planta de bioetanol carburante.

Capacidad	PRD (años)	TIR (%)	VAN (\$)
18.000,00	8.04	5.55	-262 000
22.000,00	7.74	11.86	340 000
26.000,00	5.66	26.58	720 339

CONCLUSIONES

La simulación de las 4 capacidades planteada permitió reconocer como la mejor alternativa económica la capacidad de 30 000 L/día, a partir de un precio de 2.20 \$ el litro de bioetanol se presenta un VAN 1 030 300, un TIR de 36.47 % y PRD de 3.4 años.

Analizado el proceso tecnológico la fermentación directa sería una desventaja debido a los costos elevados ya que los niveles de azúcar son bajos, sin embargo, la concentración de la lactosa representaría una alternativa viable a esta tecnología.

REFERENCIAS

- Acuerdo Interministerial Nro 177. (2019). Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, y el Ministerio de Agricultura y Ganadería 14. www.agricultura.gob.ec
- Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., Rahman, U. u., & Soares, B. C. V. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 361-372. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>
- Athimulam, A., Kumaresan, S., Foo, D. C. Y., Sarmidi, M. R., & Aziz, R. A. (2006). Modelling and Optimization of Eurycoma longifolia Water Extract Production. *Food and Bioprocess Technology*, 84(2), 139-149. <https://doi.org/10.1205/fbp.06004>
- Baldasso, C., Barros, T., & Tessaro, I. (2011). Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration. *Desalination*, 278 (6), 381-386. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.05.055>
- Benítez-Cortés, I., Pérez-Martínez, A., Barrios-Rodríguez, M. A., Rodríguez-Machado, A., & Pérez-Sánchez, A. (2018). Simulación de una planta de producción de aceite de moringa empleando el simulador de procesos *Superpro Designer*. *Tecnología Química*, 32 (2), 2-12. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445558422003>

- Casco-Méndez, G. M., Diéguez-Santana, K., Sarduy-Pereira, L., Vinocunga-Pillajo, R. D., Pomavilla-Guaminga, S. I., & Pérez-Martínez, A. (2022). Diseño del proceso de obtención de bioetanol carburante mediante hidrólisis enzimática del bagazo de caña en Pastaza. *49 (2)*, 35-46. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612022000200035&script=sci_arttext&tlng=en
- Cerda-Mejía, V., Yordi, E., Cerda Mejía, G., Vinocunga-Pillajo, R. D., Pérez, 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>
- Cerda, V., González, E., Millán, H., Ramos, J., & Pérez, A. (2020). Estudio de viabilidad de la producción de miel de caña, diseño de procesos, aceptabilidad y análisis económico. *Tecnología Química, Vol. 40, No. 3*, 517-533. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852020000300517
- Curipallo, H., Cerda Mejía, G., Tenemasa, V., Diéguez-Santana, K., Carrera-Sánchez, K., & Pérez, A. (2020). Diseño del proceso para la obtención de ácido cítrico a partir del bagazo de caña disponible en Pastaza, Ecuador. *Centro Azúcar, 47*, 86-96. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612020000200086
- Dahman, Y., Syed, K., Begum, S., Roy, P., & Mohtasebi, B., Their characteristics and analysis, Toronto, Canada, Woodhead Publishing, 2019. p. 277-325. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102426-3.00014-X>
- Das, M., Raychaudhuri, A., & Ghosh, S. K. (2016). Supply Chain of Bioethanol Production from Whey: A Review. *Procedia Environmental Sciences, 35*, 833-846. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.100>
- Dragone, G., Mussatto, S. I., Almeida e Silva, J. B., & Teixeira, J. A. (2011). Optimal fermentation conditions for maximizing the ethanol production by *Kluyveromyces fragilis* from cheese whey powder. *Biomass and Bioenergy, 35(5)*, 1977-1982. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.045>
- Gabardo, S., Rech, R., Rosa, C. A., & Ayub, M. A. Z. (2014). Dynamics of ethanol production from whey and whey permeate by immobilized strains of *Kluyveromyces marxianus* in batch

and continuous bioreactors. *Renewable Energy*, 69, 89-96.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.023>

Glutz, F. (2009). Fuel Bioethanol Production from Whey Permeate. [Thesis Presented in option to Doctor in Chemistry in the École Polytechnique Fédérale de Lausanne], 195.

<https://www.infothek->

[biomasse.ch/images//142_2009_EPFL_Fuel_Bioethanol_Production_from_Whey_Permeate.pdf](https://www.infothek-biomasse.ch/images//142_2009_EPFL_Fuel_Bioethanol_Production_from_Whey_Permeate.pdf)

INEC. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. 2019 [cited 2023/; [Online]

Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccion-agropecuaria-continua-2019/>.

Koushki, M., Jafari, M., & Azizi, M. (2012). Comparison of ethanol production from cheese whey permeate by two yeast strains. *Journal of food science and technology*, 49 (5)(5), 614-619.

<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0309-0>

Kumar, D., & Singh, V. (2016). Dry-grind processing using amylase corn and superior yeast to reduce the exogenous enzyme requirements in bioethanol production. *Biotechnology for Biofuels*, 9(1),

228. <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0648-1>

Liu, J.-J., Zhang, G.-C., Oh, E. J., Pathanibul, P., Turner, T. L., & Jin, Y.-S. (2016). Lactose fermentation by engineered *Saccharomyces cerevisiae* capable of fermenting cellobiose. *Journal of Biotechnology*, 234, 99-104.

<https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.07.018>

Llenque-Díaz, L. A., Quintana Díaz, A., Torres Lino, L., & Segura Vega, R. (2020). Produccion de bioetanol a partir de residuos organicos vegetales. *Revista de Investigación Científica REBIOL*,

40 (1), 21-29. <https://doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.01.03>

Ma, Y., Weng, J., Shao, Z., & Chen, X., Parallel Computation Method for Solving Large Scale Equation-oriented Models, 37, Hangzhou, China, Elsevier, 2015. p. 239-

244. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63578-5.50035-9>

Mellichamp, D. A. (2017). Internal rate of return: Good and bad features, and a new way of interpreting the historic measure. *Computers & Chemical Engineering*, 106, 396-406.

<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.06.005>

- Monroy, A., Narvaez, R., Vera, B., & Bautista, L. (2017). Generación de bioetanol como combustible alternativo a partir de compuestos lignocelulósicos a nivel laboratorio. *Revista de Energía Química y Física*, 4 (13), 49-57. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/vol4num13/Revista_de_Energia_Quimica_y_Fisica_V4_N13_7.pdf
- Pérez-Fernández, A., Rivas-Martínez, M. I., Caamal-Cauich, I., & Martínez-Luis, D. (2017). La producción de bioetanol y su impacto en el precio de productos agrícolas en México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 597-602. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=358652577020>
- Pérez-Martínez, A., Cervantes-Mendieta, E., Julián-Ricardo, M., González-Suárez, E., Gómez-Atanay, A., Oquendo-Ferrer, H., Galindo-Llanes, P., & Ramos-Sánchez, L. (2012). Procedimiento para enfrentar tareas de diseño de procesos de la industria azucarera y sus derivados. *Revista mexicana de ingeniería química*, 11(2), 333-349. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-27382012000200012&script=sci_abstract
- Poveda, E. (2013). Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Revista chilena de nutrición*, 40, 397-403. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182013000400011&nrm=iso
- Radovanović, M., Strategic priorities of sustainable energy development, Second Edition, Boston, Academic Press, 2023. p. 181-277. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821086-4.00004-0>
- Sar, T., Stark, B. C., & Yesilcimen Akbas, M. (2017). Effective ethanol production from whey powder through immobilized E. coli expressing Vitreoscilla hemoglobin. *Bioengineered*, 8(2), 171-181. <https://doi.org/10.1080/21655979.2016.1218581>
- Sarkar, S., Das, B., Maiti, S., & Bhattacharjee, S. (2016). Studies on production of ethanol from cheese whey using Kluyveromyces marxianus. *Materials Today: Proceedings*, 3(10, Part A), 3253-3257. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2016.10.006>
- Secretaría de Energía de Argentina. Precios de Bioetanol. 2018 [cited 2023]; [Online] Available: https://glp.se.gov.ar/biocombustible/reporte_precios_bioetanol.php.

- Sindhu, R., Binod, P., Pandey, A., Ankaram, S., Duan, Y., & Awasthi, M. K., Biofuel Production From Biomass: Toward Sustainable Development, Trivandrum, India, Elsevier, 2019. p. 79-92. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64083-3.00005-1>
- Villegas-Soto, N. R., Díaz-Abreu, J. A., & Hernández-Monzón, A. (2017). Evaluación de la eficiencia tecnológica en la elaboración artesanal de queso fresco de coagulación enzimática. *Tecnología Química*, 37 (3), 415-427. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445552858002>
- Vinocunga-Pillajo, R. D., Romero Vistin, A. S., & Sánchez Vallejo, C. A. (2023). Diseño del Proceso de Obtención de Queso Fresco en la Provincia de Chimborazo en el Software *SuperPro Designer*. *INGENIO*, 6 (1), 60-69. <https://doi.org/10.29166/ingenio.v6i1.4220pISSN>