

Artículo Original

***DISEÑO DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ÁCIDO
CÍTRICO A PARTIR DEL BAGAZO DE CAÑA DISPONIBLE EN
PASTAZA, ECUADOR***

***PROCESS DESIGN TO OBTAINING CITRIC ACID FROM THE SUGARCANE
BAGASSE AVAILABLE IN PASTAZA, ECUADOR***

Henry Tuquerres Curipallo ¹ <https://orcid.org/0000-0001-6792-1910>

Galo Cerda Mejía ¹ <https://orcid.org/0000-0002-2027-8646>

Viviana Tenemasa ¹ <https://orcid.org/0000-0001-5773-6957>

Karel Diéguez Santana ¹ <https://orcid.org/0000-0003-4064-0566>

Karina Carrera Sánchez ¹ <https://orcid.org/0000-0003-1438-4466>

Amaury Pérez Martínez ^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-3978-7982>

¹ Universidad Estatal Amazónica, km 2 Vía Puyo-Tena, Puyo, Agroindustria/FCT Puyo,
160150 Pastaza, Ecuador.

Recibido: Octubre 30, 2019; Revisado: Noviembre 16, 2019; Aceptado: Diciembre 4, 2019

RESUMEN

Introducción:

La industria ecuatoriana consume grandes cantidades de ácido cítrico. Este producto es utilizado como conservante y antioxidante natural. Dentro de las materias primas que se pueden utilizar está el bagazo y en la provincia de Pastaza existe disponibilidad de este residuo que se obtiene de la fabricación artesanal de panela y no es aprovechado.

Objetivo:

Diseñar el proceso tecnológico para la obtención de ácido cítrico a partir del bagazo de caña disponible en la provincia de Pastaza.

Materiales y Métodos:

Se utilizó un procedimiento para el diseño del proceso y la herramienta informática *SuperPro Designer* para simular cuatro cantidades de consumo de bagazo para el proceso tecnológico seleccionado, que comprende el acondicionamiento, pretratamiento, fermentación sólida, separación y purificación.

Resultados y Discusión:

Considerando las posibles capacidades de la planta con respecto al consumo de materia prima se obtuvo que si se consumen 68,35 t/d el Valor Actual Neto es positivo. Por lo tanto, a partir de esa capacidad se pueden generar ganancias. Los residuos generados en la producción de ácido cítrico son yeso, biomasa, lignina, hidrolasas y emisiones de



Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Amaury Pérez, Email: aperezmartinez2009@gmail.com



CO₂. Estos se destinan para la producción de nuevos productos o energías para reducir el impacto ambiental.

Conclusiones:

Se diseñó el proceso tecnológico para la obtención de ácido cítrico en la provincia de Pastaza, del cual se realizó el análisis económico de las capacidades de 60, 72, 84 y 96 toneladas de bagazo teniendo como resultado un VAN de -3 021 000, 1 217 000, 5 827 000 y 10 576 000 USD respectivamente, lo que permitió encontrar una ecuación que predijo el comportamiento del VAN.

Palabras clave: ácido cítrico; bagazo de caña; diagrama heurístico, *SuperPro Designer*.

ABSTRACT

Introduction:

The Ecuadorian industry consumes large amounts of citric acid. This product is used as a preservative and natural antioxidant. Among the raw materials that can be used is bagasse. There is availability of this residue in Pastaza province that is obtained from the panela handmade manufacture is not used.

Objective:

Design a technological process for obtaining citric acid from sugar cane bagasse available in Pastaza province.

Materials and Methods:

A procedure was used for process design and SuperPro Designer software tool to simulate four quantities of bagasse consumption for the selected technological process that includes conditioning, pretreatment, solid fermentation, separation and purification.

Results and Discussion:

Considering the possible plant capacities with respect to the raw material consumption, it was obtained that if 68.35 t/day are consumed, the Net Present Value is positive. Therefore, from that capacity profits can be generated. The wastes generated in citric acid production are gypsum, biomass, lignin, hydrolases and CO₂ emissions. These are intended for new products or energy production in order to reduce the environmental impact.

Conclusions:

The economic analysis for capacities of 60, 72, 84 and 96 tons of bagasse carried out for citric acid technological process designed in Pastaza province, resulting in a NPV of -3 021 000, 1 217 000, 5 827 000 and 10 576 000 USD respectively, which allowed to find an equation that predicted NPV behavior.

Keywords: citric acid; sugarcane bagasse; heuristic diagram; SuperPro Designer.

1. INTRODUCCIÓN

La simulación de procesos desempeña un papel importante para la explotación del potencial de bioprocesos (Woinaroschy y Taraş, 2009). El *SuperPro Designer* es un simulador que ha sido utilizado para determinar los parámetros de diseño de los procesos tecnológicos y para la creación de nuevos productos químicos o bioquímicos (Ghasem, 2011). Las principales ventajas de este simulador consisten en una gran base de datos de compuestos químicos, operaciones unitarias e información económica

(Woinaroschy y Taraş, 2009).

Los ácidos orgánicos se pueden obtener de productos derivados de procesos microbiológicos que son utilizados para diversas aplicaciones. Uno de los ácidos orgánicos más utilizados es el ácido cítrico, gracias a su baja toxicidad en comparación con otros acidulantes (Adeoye y col., 2015).

El *Aspergillus niger* es un hongo filamentoso que juega un papel importante en el campo de la biotecnología, el cual se destaca a nivel industrial tanto en la explotación de ácidos orgánicos, así como para enzimas hidrolíticas (Andersen y col., 2011). Este microorganismo permite degradar con eficacia los principales polisacáridos que se encuentran en los residuos vegetales (De Souza y col., 2013) y es uno de los principales productores de enzimas comerciales para la conversión de biomasa vegetal, debido a su alta capacidad de producción de enzimas. Este es el microorganismo preferido en la producción de ácido cítrico, debido al alto rendimiento por unidad de tiempo incluso a valores de pH bajos, con la capacidad de fermentar una amplia gama de sustratos baratos (Narasimha y col., 2012).

El uso de nuevos procesos biotecnológicos utilizando hongos ha ganado gran interés en la actualidad para la producción de ácido cítrico, en comparación con la síntesis química que resulta un procedimiento costoso. La fermentación sumergida es el método más utilizado a nivel industrial. Sin embargo, los estudios realizados en fermentación en estado sólido generaron importantes cantidades de ácido cítrico (Narasimha y col., 2012).

En el año 2014, la producción de ácido cítrico en Colombia fue aproximadamente de 40 000 toneladas por año y se espera que la demanda crezca en los próximos años (Muñoz-Villa y col., 2014), y si se consideran las crecientes aplicaciones industriales del ácido cítrico (bebidas, dulces, conservas, verduras procesadas, alimentos congelados, frutas y hortalizas enlatadas, cosméticos, artículos de tocador y limpieza de metales) (Rosas y Terán, 2015), se ha planteado el aprovechamiento de residuos agroindustriales para la obtención de ácido cítrico mediante la reutilización de materiales de desecho (Husseiny y col., 2010).

En la actualidad, en el Ecuador no existen precedentes sobre la producción de ácido cítrico a escala industrial, debido a la escasa información local, de una propuesta tecnológica y metodológica apropiada a nivel de la zona de estudio (Rosas y Terán, 2015).

Para la realización del presente trabajo se propuso como objetivo el diseño del proceso tecnológico de la obtención de ácido cítrico a partir del bagazo de caña disponible en la provincia de Pastaza mediante la fermentación en estado sólido de dichos residuales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Metodología para el diseño del proceso

Se utilizó el método secuencial del diseño de procesos, propuesto por Pérez-Martínez y col., (2012) que describe un análisis multicriterial para la integración de los aspectos técnicos, ambientales y económicos, el cual permite la obtención de resultados cualitativamente superiores.

2.2. Metodología para el diseño asistido por computadora

La simulación se realizó siguiendo los pasos planteados por (Julián-Ricardo y col., 2018) y se utilizó la herramienta informática *SuperPro Designer v9.0*. Se seleccionó este simulador por su aplicación a procesos tecnológicos y consta de dos pasos: recopilación de la entrada de los datos (modo de operación, registro de materiales, construcción del diagrama de flujo y procedimiento operacional) y el proceso de simulación (análisis económico y medioambiental). Estos pasos coinciden con los planteados por Pérez-Martínez y col., (2012).

2.3. Entrada de datos para la simulación

2.3.1. Fuentes de información

La recopilación de datos e información fue indispensable para el análisis del proceso tecnológico de la obtención de ácido cítrico, se obtuvo a partir de investigaciones ya realizadas por diferentes autores (Albernas-Carvajal y col., 2017; Amenaghawon y col., 2013; Rodríguez y col., 2019).

2.3.2. Modo de operación

El *SuperPro Designer* permite simular en modo continuo y discontinuo. En el presente trabajo se escogió el modo continuo, el cual permite simular el acondicionamiento y pretratamiento del bagazo y la producción de ácido cítrico. Este coincide con el modo de operación publicado por Soccol y col. (2006) donde fueron utilizados fermentadores tipo tambores rotatorios. Estos mismos equipos se propusieron utilizar en las etapas de pretratamiento del bagazo para convertir el proceso discontinuo propuesto por Albernas-Carvajal y col. (2017) en continuo.

2.3.3. Registro de Materiales

En el proceso simulación del proceso de obtención de ácido cítrico se utilizaron los siguientes materiales: bagazo, enzimas, celulosa, glucosa, lignina, ácido sulfúrico, hidróxido de sodio y de calcio, etanol, yeso, citrato de calcio, vapor, xilosa, agua y nutrientes. El microorganismo utilizado en la fermentación en sustrato sólido fue *A. niger*.

2.3.4. Construcción de diagrama de flujo

El diagrama de flujo se construyó en el simulador *SuperPro Designer* a partir de la información de las tecnologías para la producción de ácido cítrico. El bagazo de caña es acondicionado (Amenaghawon y col., 2013) y pretratado (Albernas-Carvajal y col., 2017) para su posterior fermentación-separación-purificación (Harrison y col., 2015).

2.3.5. Procedimiento operacional

Se configuran las operaciones involucradas en las etapas de acondicionamiento y pretratamiento del bagazo y producción del ácido cítrico. Estas operaciones permiten primero acondicionar el bagazo para su posterior transformación en un sustrato que es asimilable por el microorganismo *A. niger* (Soccol y col., 2006). El ácido cítrico que presente en el licor producto de la fermentación es separado por dos etapas de reacción-filtración primero con ácido sulfúrico y posteriormente con hidróxido de calcio, para

finalmente ser purificado en una etapa de cristalización.

2.4. Proceso de simulación

La simulación del proceso permitió la resolución de los balances de masa y energía, el dimensionamiento del equipamiento y la estimación del costo de inversión y producción a partir del diagrama de flujo del proceso y la caracterización de las corrientes de salida, en función de si son productos, co-productos o residuos para cada una de las cantidades de bagazo propuestas.

2.5. Análisis económico

Se determinaron las partidas de los costos de inversión y producción y los indicadores dinámicos económicos. Los periodos de construcción y de arranque de la planta se tomaron según la Tabla 1 y en función de las condiciones imperantes en Ecuador para este tipo de empresa. El resto de los datos se consideraron los valores definidos por defecto en el *SuperPro Designer* por no estar disponible en el Ecuador.

Se estableció que el proceso opera los dos primeros años al 50% y 70% de su capacidad y el resto al 90% en función del tiempo de vida del proyecto, que el cinco por ciento del flujo de producto es defectuoso y que el impuesto sobre los ingresos es del 12 % (SRI, 2019).

Tabla 1. Datos para el análisis económico

<i>Indicadores económicos</i>	<i>Valor</i>	<i>Fuente</i>
Precio de venta del ácido cítrico (USD/kg)	2,8	(Rodríguez y col., 2019)
Precio de compra del bagazo (USD/kg)	0,27	(Rodríguez y col., 2019)
Periodo de construcción (meses)	24	(Rodríguez y col., 2019)
Periodo de arranque (meses)	4	(Rodríguez y col., 2019)
Tiempo de vida de la tecnología (años)	15	(Banco Central del Ecuador, 2019)
Tasa de interés empresarial (%)	9,26	(Banco Central del Ecuador, 2019)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Producto

Ecuador importa de China el 54,83% de ácido cítrico, con un crecimiento anual de importaciones equivalente al 1% con una cuota mundial de 35,15%, se considera que el crecimiento de las importaciones permite identificar que actualmente existe una demanda de 3 138 000 kg/año de ácido cítrico en el Ecuador con tendencia al incremento (Internacional Trade Center, 2018).

3.2. Selección de la tecnología

La tecnología aplicada en la producción de ácido cítrico consiste en operaciones preliminares para el acondicionamiento, pretratamiento, fermentación, preparación del medio de cultivo, separación y purificación. Del proceso de fermentación de las distintas matrices se obtiene el CO₂, biomasa, agua recuperada, yeso, azúcares fermentables, aire con agua como se puede visualizar en la Figura 1.

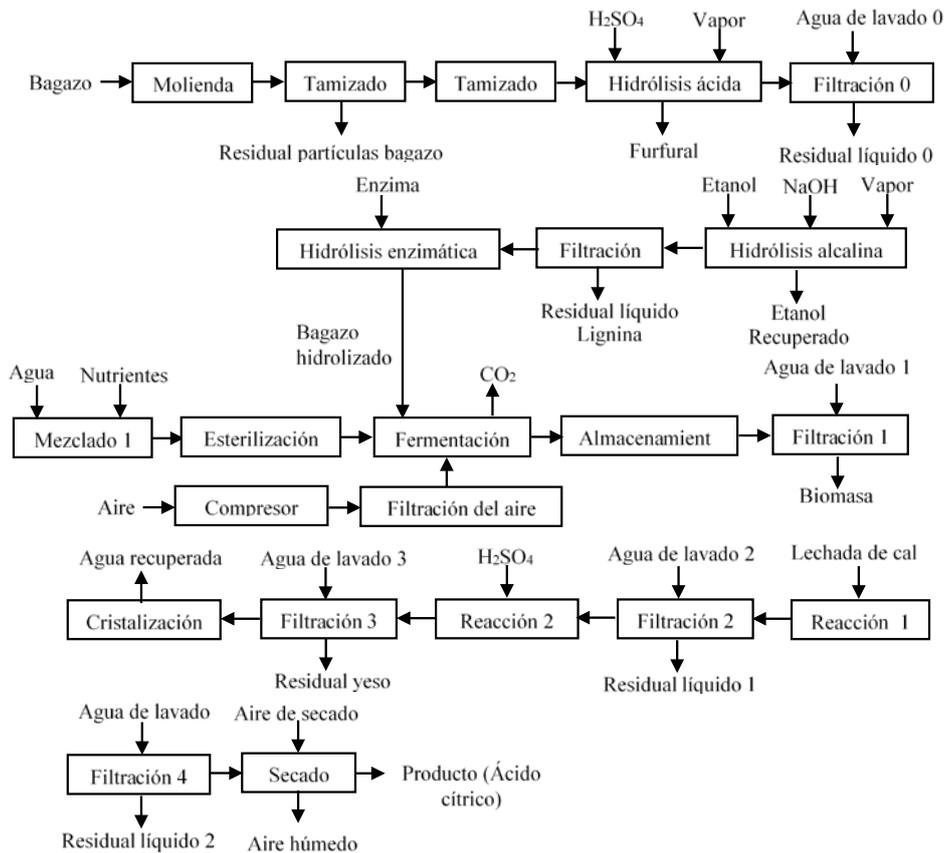


Figura 1. Diagrama de bloque para la producción de Ácido Cítrico

3.3. Definir el esquema tecnológico

El esquema tecnológico (Figura 2) para la producción de ácido cítrico está en función de la Figura 1. El esquema se conformó con los equipos que permiten llevar cada una de las operaciones definidas en el acápite anterior. La descripción está en función de las tres etapas, el acondicionamiento de la materia prima, pretratamiento del bagazo y la producción del ácido cítrico.

3.3.1. Acondicionamiento del bagazo

El acondicionamiento se realizó un molino de martillos y tamizado hasta un tamaño de partícula entre 1,2 a 1,6 mm (Figura 2) (Soccol y col., 2006).

3.3.2. Pretratamiento del bagazo

Antes de ingresar la materia prima al proceso de fermentación, se realiza una etapa previa de pretratamiento. En la hidrólisis ácida se obtienen los siguientes productos: furfural, lignina, hemicelulosa y celulosa. El furfural es el producto de la hidrólisis ácida con ácido diluido y la xilosa se obtiene por las altas temperaturas (Albernas-Carvajal y col., 2017). Los productos de las hidrólisis básica y enzimática son la lignina, celulosa, hemicelulosa, glucosa y xilosa. La lignina solubilizada y azúcares fermentables es el efluente que sale para la hidrólisis enzimática y es separada en un proceso de filtración. El bagazo de la caña de azúcar hidrolizado se traslada a la siguiente etapa donde ocurre la fermentación para formar el ácido cítrico que en pasos posteriores es separado y purificado (Figura 2). Varios de los productos utilizados en la hidrólisis ácida y básica

pueden ser recuperados y reutilizados en el proceso y contribuir a la reducción del costo de producción.

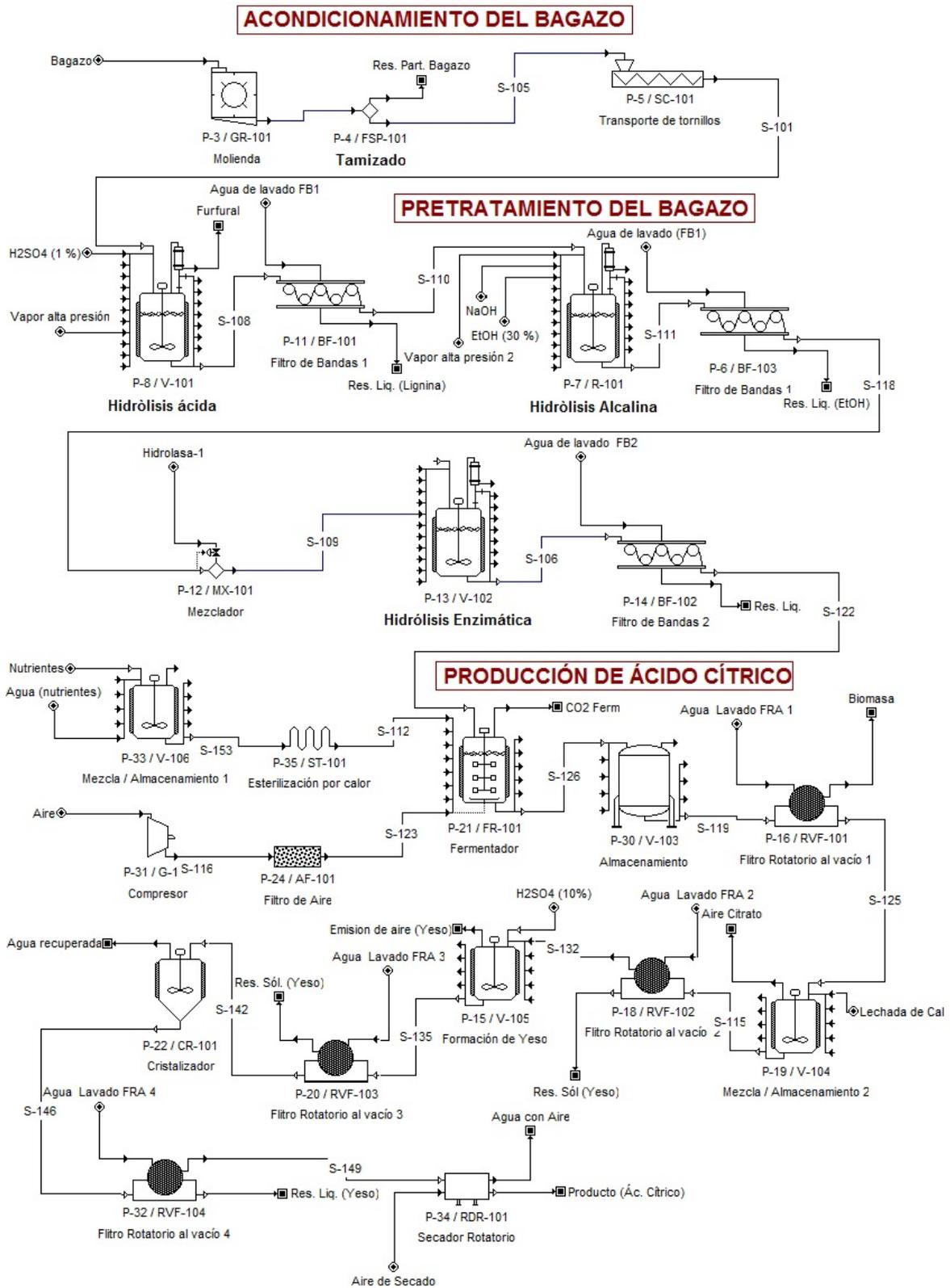


Figura 2. Esquema tecnológico para producción del Ácido Cítrico

3.3.3. Producción de ácido cítrico.

La corriente del bagazo hidrolizado que se obtiene en la etapa anterior contiene agua y azúcares fermentables como xilosa y glucosa, los cuales pasan a una etapa de mezclado,

consecutivamente de la pre-fermentación con adición de aire por medio de un compresor, de este procedimiento se obtiene un sustrato apto para la fermentación total de los azúcares y un excedente de CO₂. En esta etapa se separa el citrato cálcico por precipitación agregando hidróxido de calcio (Harrison y col., 2015) posteriormente se añade el ácido sulfúrico para separar el yeso que se precipita y el ácido cítrico es cristalizado en un cristalizador.

3.4. Estimación de la capacidad de la planta, costos del equipamiento e indicadores económicos y ambientales

La cantidad de materia prima consumida por el proceso es inferior a la cantidad de caña de azúcar potencial que se puede producir en las áreas cultivables de las parroquias Tarqui, San José, Fátima y Puyo. Las áreas cultivadas de caña de todas estas parroquias representan 5 400 ha (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2018) y tienen un potencial de producción de 186,41 t/d bagazo después de ser procesado en la obtención de panela y aguardiente.

Los residuos generados en la producción de ácido cítrico son yeso, biomasa, lignina, hidrolasas y emisiones de CO₂. Estos se destinan para la producción de nuevos productos o energías para reducir el impacto ambiental. Es el caso de la biomasa que se obtiene de la fermentación se puede convertir en alimento animal (Aguilar-Navarro y col., 2014). En el caso del yeso puede ser utilizado como fertilizante de suelos áridos (López-Aguilar y col., 2012).

El CO₂ puede ser recuperado para su utilización en la industria alimentaria tanto en las bebidas gasificadas como en la extracción de pigmentos, colorantes, entre otros (del Valle y Aguilera, 1999) y la lignina puede ser mezclada con otros combustibles para generar energía y puede ser despolimerizada para obtener compuestos de interés industrial (Chávez-Sifontes y Domine, 2013).

Para la determinación de los indicadores económicos se dimensionaron y seleccionaron los equipos involucrados dentro del proceso tecnológico, lo cual permite calcular el costo de cada uno de los equipos que conforma la planta, para poder estimar el costo total de inversión. Los costos de los equipos fueron calculados tomando en cuenta si la inversión se hubiese generado en el año 2018, considerando cuatro capacidades diferentes de ácido cítrico (3 841 712, 4 610 054, 5 378 396 y 6 146 739 kg/año), para un consumo de materia prima de 60, 72, 84 y 96 t/día respectivamente.

En la Figura 3 (a), se observa que el VAN para un consumo de 60 t es negativo con un valor de US\$ -3 021 000. En cambio, para las demás capacidades el valor es positivo con un valor de USD 1 217 000, 5 827 000 y 10 576 000 y un periodo de recuperación de la inversión de 6,27, 5,24 y 4,51 respectivamente. Estos valores son acordes al monto de la inversión (Pérez-Martínez y col., 2012).

La regresión lineal de las cantidades de bagazo consumidas y los valores del VAN obtenidos de la simulación arrojó el siguiente modelo matemático, mostrado en la ecuación 1:

$$\text{VAN} = -2,58609 \times 10^7 + 378341,67(\text{Capacidad de la Planta}) \quad (1)$$

Este modelo se ajusta a una ecuación lineal. El coeficiente de determinación R^2 de 0,999 (Figura 3 (b)) corrobora el ajuste de los valores obtenidos con el modelo lineal. El valor del error estándar es elevado, pero se justifica este resultado la media de los valores obtenidos del VAN y el número de simulaciones que se hicieron (Seber y Lee, 2012). Este modelo permitió determinar que la cantidad de bagazo igual o mayor que 68,35 t/día el VAN es positivo y a partir de este valor se puede generar rentabilidad en la empresa. Siendo este valor, el punto de isocosto, a partir del cual el proceso estaría en el umbral de ganancias Además, el costo aproximado de venta del ácido cítrico es de 2 800 USD/t, lo que se asemeja al valor planteado por (Rodríguez y col., 2019) tomando en cuenta las diferentes condiciones económicas de los países.

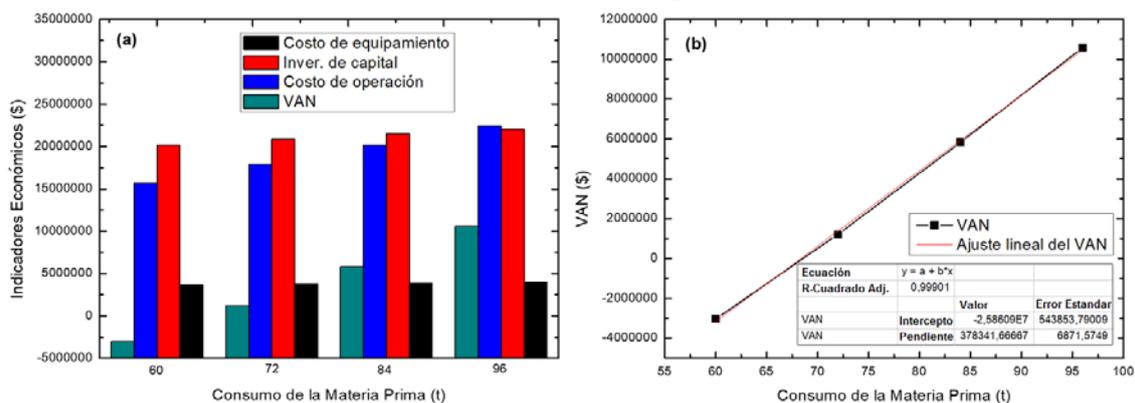


Figura 3. Indicadores económicos (a) Variación de los indicadores económicos respecto a la capacidad de la planta (b) Valor Actual Neto (VAN) vs consumo de materia prima y ecuación de ajuste

4. CONCLUSIONES

1. La cantidad mínima de bagazo que se recomienda consumir para alcanzar el punto de isocosto es de 68,35 t/d. Este valor bagazo consumido es inferior a la disponibilidad de bagazo potencial de la provincia de Pastaza y permitiría cubrir la demanda de ácido cítrico de Ecuador al año.
2. Los valores del VAN obtenidos de la simulación con el *SuperPro Designer* fueron de -3 021 000, 1 217 000, 5 827 000 y 10 576 000 USD para un consumo de bagazo de 60, 72, 84 y 96 t/d y una capacidad de producción de 3 841 712, 4 610 054, 5 378 396 y 6 146 739 kg/año y un periodo de recuperación de la inversión de 6,27, 5,24 y 4,51 años respectivamente. Siendo factibles los procesos que consumen 72 t/d o más de bagazo.

REFERENCIAS

- Adeoye, A.O., Lateef, A., y Gueguim-Kana, E.B., Optimization of citric acid production using a mutant strain of *Aspergillus niger* on cassava peel substrate., *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, Vol. 4, No. 4, 2015, pp. 568-574.
- Aguiar-Navarro, B., Camacho-Pozo, M., y Serrat-Díaz, M.J., Enriquecimiento proteico de residuales agroindustriales mediante fermentación sólida con el hongo filamentoso *Aspergillus niger*., *Revista Cubana de Química*, Vol. 26, No. 1, 2014, pp. 17-25.

- Albernas-Carvajal, Y., Corsano, G., González Cortés, M., y González Suárez, E., Preliminary design for simultaneous saccharification and fermentation stages for ethanol production from sugar cane bagasse., *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 126, 2017, pp. 232-240.
- Amenaghawon, N.A., Areguamen, S.O., Agbroko, N.T., Ogebeide, S.E., y Okieimen, C.O., Modelling and statistical optimisation of citric acid production from solid state fermentation of sugar cane bagasse using *Aspergillus niger*., *International Journal of Sciences*, Vol. 2, 2013, pp. 56-62.
- Andersen, M.R., Salazar, M.P., Schaap, P.J., Van De Vondervoort, P.J.I., Culley, D., Thykaer, J., Comparative genomics of citric-acid-producing *Aspergillus niger* ATCC 1015 versus enzyme-producing CBS 513.88., *Genome Res*, Vol. 21, 2011, pp. 885-897.
- Banco Central del Ecuador., Tasas de Interés del Banco Central del Ecuador., 2019. Disponible en: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/TasasVigentes062019.htm>
- Chávez-Sifontes, M., y Domine, M.E., Lignina, estructura y aplicaciones: Métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial, *Avances en Ciencias e Ingeniería*, Vol. 4, No. 4, 2013, pp. 15-46.
- De Souza, W.R., Maitan-Alfenas, G.P., Gouvêa, P.F., Brown, N.A., Savoldi, M., Battaglia, E., The influence of *Aspergillus niger* transcription factors AraR and XlnR in the gene expression during growth in d-xylose, l-arabinose and steam-exploded sugarcane bagasse., *Fungal Genet Biol*, Vol. 60, 2013, pp. 29-45.
- del Valle, J.M., y Aguilera, J.M., Revision: Extracción con CO₂ a alta presión. Fundamentos y aplicaciones en la industria de alimentos., *Food Science and Technology International*, Vol. 5, No. 1, 1999, pp. 1-24.
- Ghasem, N., *Computer methods in chemical engineering*., CRC Press, 2011, pp. 429-436.
- Harrison, R.G., Todd, P., Rudge, S.R., y Petrides, D.P., *Bioseparations science and engineering*., Oxford University Press, 2015, pp. 472-479.
- Husseiny, S.M., Helemish, F.A., Younis, N.A., y Farag, S.S., Selection of Most Potent *A. niger* Isolates Growing on Different Carbohydrate by-Products for Citric Acid Production., *Journal of American Science*, Vol. 6, No. 10, 2010, pp. 1222-1229.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos., *Estadísticas agropecuarias*., 2018. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Internacional Trade Center., *Trademap*. 2018. Disponible en: <https://www.trademap.org/>
- Julián-Ricardo, M.C., Baltá-García, J.G., Pérez-Sánchez, E.J., y Pérez-Sánchez, A., Simulación del proceso de producción de cerveza a escala piloto., *Afinidad*, Vol. 75, No. 581, 2018, pp. 39-44.
- López-Aguilar, R., Rodríguez-Quezada, G., Naranjo Murillo, A., Beltrán-Morales, L. F., Troyo-Diéguez, E., Casanova Cruz, A., Uso de yeso para una agricultura orgánica sustentable en zonas áridas y semiáridas., *Interciencia*, Vol. 37, No. 8, 2012, pp. 594-601.
- Muñoz-Villa, A., Sáenz-Galindo, A., López-López, L., Cantú-Sifuentes, L., y Barajas-

- Bermúdez, L., Ácido Cítrico: Compuesto Interesante., Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila, Vol. 6, No. 12, 2014, pp. 18-23.
- Narasimha, A., Kumar, A.P., Srilakshmi, A., y Hariveeran Goud, K., Citric acid production by *Aspergillus niger* through solid state fermentation using fruit wastes., *Biotechnology An Inidan Journal*, Vol. 6, No. 3, 2012, pp. 93-96.
- Pérez-Martínez, A., Cervantes-Mendieta, E., Julián-Ricardo, M.C., González-Suárez, E., Galindo-Llanes, P.A., Oquendo-Ferrer, H., Procedimiento para enfrentar tareas de diseño de procesos de la industria azucarera y sus derivados., *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, Vol. 11, No. 2, 2012, pp. 333-349.
- Rodríguez, L.G., Sánchez, A.P., y Zayas, L.Z., Rentabilidad económica y análisis de sensibilidad de una planta de producción de ácido cítrico a partir de bagazo de caña de azúcar., *Revista de Ciencia y Tecnología*, Vol. 21, No. 31, 2019, pp. 80-88.
- Rosas, M.B., y Terán, D.F., Obtención de ácido cítrico a partir de melaza o cachaza, mediante fermentación utilizando cepa de *Aspergillus Niger* ATCC 16888., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Técnica del Norte, Ecuador, 2015.
- Seber, G.A., y Lee, A.J., *Linear regression analysis*, Vol. 329, John Wiley & Sons, 2003, pp. 4-93.
- Soccol, C.R., Vandenberghe, L.P.S., Rodrigues, C., y Pandey, A., New perspectives for citric acid production and application., *Food Technology Biotechnology*, Vol. 44, No. 2, 2006, pp. 141-149.
- SRI., Servicio de Rentas Internas., 2019. Disponible en: <http://www.sri.gob.ec/web/guest/impuesto-al-valor-agregado-iva>
- Woinaroschy, A., y Taraş, S., Simulation and optimization of citric acid production with SuperPro designer using a client-server interface., *Rev. Chim.*, Vol. 60, No. 9, 2009, pp. 979-983.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Henry Tuquerres Curipallo. Realizó el estudio, análisis y escritura del artículo.
- M.Sc. Galo Cerda Mejía. Participó en el estudio, análisis y escritura del artículo.
- Ing. Viviana Tenemasa. Realizó la corrida de los datos en el Software *SuperPro Designer*.
- M.Sc. Karel Diéguez Santana. Participó el estudio, análisis y escritura del artículo.
- Dra.C. Karina Carrera Sánchez. Realizó la corrida de los datos en el Software *SuperPro Designer*.
- Dr.C. Amaury Pérez Martínez. Realizó el estudio, análisis y escritura del artículo.