

Análisis de alternativas para la obtención de materia insaponificable a partir de residuales de la industria azucarera.

Analysis of alternatives for the obtaining of matter insaponifiable starting from residual of the sugar industry.

Inés María San Anastacio Rebollar. Universidad de Camagüey. e-mail: ines.sananastacio@reduc.edu.cu; Jermaine Patmore Robert Mullin Universidad de Camagüey; Deon Cleveland Anderson Universidad de Camagüey; Reinier Feyt Leiva Universidad Central Marta Abreu de Las Villas; Gretel Villanueva Ramos Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.

Resumen.

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la tecnología más factible para la producción de materia insaponificable a partir de la cachaza a través de un análisis de factibilidad técnica y económica de las tecnologías propuestas; para ello se caracterizan los procesos, se realiza el balance de materiales para dimensionar el equipamiento tecnológico principal de ambas alternativas y se calculan los parámetros e indicadores económicos siguiendo la metodología establecida por Peters (Peters, 1990) en Plant Design and Economic for Chemical Engineers.

En el desarrollo del trabajo se utilizan los softwares Microsoft "Excel para realizar los balance de materiales y los cálculos asociados al análisis económico y el programa Hysys v. 3.2 en la confección de los diagramas de flujo tecnológico.

El análisis económico realizado muestra que la tecnología de saponificación reporta una ganancia 32 veces mayor que la de transesterificación con un tiempo de recuperación de la inversión de 0.5 años el cual es mucho menor que el de la transesterificación de 3.8 años. Los valores del VAN y el TIR para la tecnología de saponificación son de \$4 369 075.00 y de 458% respectivamente muy superiores a los de la transesterificación de \$189 593.67 y 47%. Estos resultados demuestran que la tecnología de saponificación es la alternativa más factible económicamente para el procesamiento de la cera de la cachaza.

1. Introducción.

La cachaza es un residuo muy abundante de la industria azucarera; por su composición química y bajo precio, resulta atractiva como materia prima en la industria de procesos por lo que constituye uno de los subproductos con mayores perspectivas para su aprovechamiento industrial. Del procesamiento de una tonelada de caña se producen de 30-50 kg / Ton de cachaza, lo que representa entre 3-5 % de la caña molida. Investigaciones realizadas en el ICIDCA determinaron que la cachaza contiene: 2-3 % de cera cruda, 7 % de arcillas e impurezas orgánicas, 15 % de bagacillo y azúcares disueltos, y aproximadamente 75 % de humedad, todos estos porcentajes están dados en peso [1].

La cera de caña de azúcar, que se extrae de la cachaza, contiene 35,5 % de materia saponificable (ácidos grasos) y 60 % de materia no saponificable. La materia insaponificable, según el mismo autor, contiene 72,1 % de alcoholes grasos, 25,2 % de ésteres grasos y 2,7 % de hidrocarburos [2]. La materia insaponificable representa un producto de sumo interés industrial debido a la amplia gama de aplicaciones de sus componentes, principalmente los alcoholes grasos, que son alcoholes alifáticos primarios de cadena larga (20 - 36 carbonos). Además de la cera de caña de azúcar, entre las múltiples fuentes naturales de obtención de alcoholes grasos, las de mayor rendimiento son las ceras de abejas, de salvado de arroz, Carnauba y de insectos [3].

El componente mayoritario en la mezcla de alcoholes grasos presentes en la cera de caña de azúcar es el octacosanol con un 60 - 70 % volumen, seguido por triacontanol (10 - 15 %), hexacosanol (5.5 - 8.5 %), dotriacontanol (4 - 6 %), heptacosanol (2 - 3.5 %), tetratriacontanol (0.4 - 2.0 %), nonacontanol (0.4 - 1.2 %) y tetracosanol (0.5 - 1.0 %) [4]. Esta mezcla de alcoholes, llamada policosanol, sola o en combinación con otras sustancias, se utiliza para elaborar diferentes formulaciones farmacéuticas las cuales se usan para tratar enfermedades tales como: hipercolesterolemia, aterosclerosis, úlceras gástricas y trastornos de la potencia sexual de los hombres [5]. Los alcoholes grasos se usan además en la elaboración de alimentos y cosméticos y como solventes industriales. Debido a su naturaleza antipática, se comportan como surfactantes no iónicos. Estos encuentran aplicación como emulsificantes, emolientes y espesantes en las industrias cosméticas y alimentaria.

Está demostrado que el policosanol tiene propiedades asociadas a la disminución de los niveles de colesterol que le permiten ser utilizado como componente activo en formulaciones farmacéuticas para el control del colesterol. El policosanol representa una fuente importante para la obtención de productos de alto valor agregado, dentro de los que se encuentran: alcoholes etoxilados, sales de amonio cuaternaria, ésteres, sulfatos de alcoholes, etoxisulfatos de alcoholes, etc., con amplio uso en las industrias agrícola, cosmética, alimentaria y farmacéutica lo que abre un campo de aplicación importante para estos compuestos [6].

En el 2000, Vera propuso una tecnología para el tratamiento de la cera de caña de azúcar en la que la cera se somete a una reacción de saponificación con hidróxido de sodio (NaOH) en medio alcohólico (C_2H_5OH) durante 30 minutos obteniéndose dos fracciones: una de materia saponificable y otra de materia insaponificable [7]. Años más tarde, en el 2007, Feyt propone una tecnología donde se hace reaccionar la cera con etanol (C_2H_5OH) en presencia de etóxido de sodio ($C_2H_5O^-Na^+$) durante 4 horas, llevándose a cabo la transesterificación de la misma obteniéndose como productos biodiesel y materia insaponificable [8].

Actualmente el policosanol, componente principal de la materia insaponificable de la cera de caña de azúcar, es considerado uno de los productos de mayores ventas en el sector natural es por ello que el objetivo del presente trabajo es determinar la tecnología más factible para la producción de materia insaponificable a partir de la cachaza a través de un análisis de factibilidad técnica, ambiental y económica de las tecnologías propuestas por Vera (2000) y Feyt (2007).

2. Materiales y métodos.

En el desarrollo del trabajo se compararon la tecnología de saponificación propuesta por Vera (2000) y la de transesterificación desarrollada por Feyt (2007) para el procesamiento de la cera de la cachaza. Se utilizaron los *software* Microsoft Excel para realizar los balances de materiales, diagramas de bloques y los cálculos asociados al análisis económico y el programa Hysys v. 3.2, en la confección de los diagramas de flujo tecnológico.

Para realizar el balance de materiales en cada equipo, se partió del procesamiento de 200 kg de cachaza. El cálculo de los parámetros e indicadores económicos se realizó siguiendo la metodología establecida por Peters en 1990 [9].

3. Resultados y discusión.

3.1 Comparación de los esquemas tecnológicos.

El análisis de los diagramas de flujo (figuras 1 y 2) muestra que en ambas tecnologías la cera es extraída de forma similar, por lixiviación a corrientes cruzadas, empleando nafta como solvente de extracción.

En la tecnología de transesterificación, se emplean 2 tanques de evaporación, cada uno seguido por 2 intercambiadores de calor, ambos con el objetivo de eliminar y luego recuperar la nafta al proceso. Estas operaciones unitarias adicionales implican un aumento de consumo de vapor específicamente en los tanques de evaporación, sin embargo, proporcionan la ventaja de eliminar estas grandes cantidades de nafta desde el inicio, posibilitando que los equipos posteriores tengan menores dimensiones. La tecnología de saponificación, al contrario, no hace uso de evaporadores, de esta forma, la nafta no se elimina al inicio, sino que entra junto con la cera al reactor, es por ello que esta tecnología consume menos vapor, sin embargo, requiere de equipos de mayores dimensiones.

Además, en los diagramas de flujo se aprecia que en ambos procesos las corrientes de salida de los reactores requieren de tratamiento. A los etil ésteres, en el caso de la transesterificación, solo es necesario eliminarle la nafta. En la saponificación, sin embargo, se requiere un tratamiento más complejo que involucra otra reacción química donde se emplean ácidos muy diluidos, por lo que el material de construcción de los equipos en esta etapa debe ser resistente a la corrosión. A los productos de esta reacción además se le hacen tres lavados. Este conjunto de operaciones unitarias incide en el consumo de electricidad del proceso.

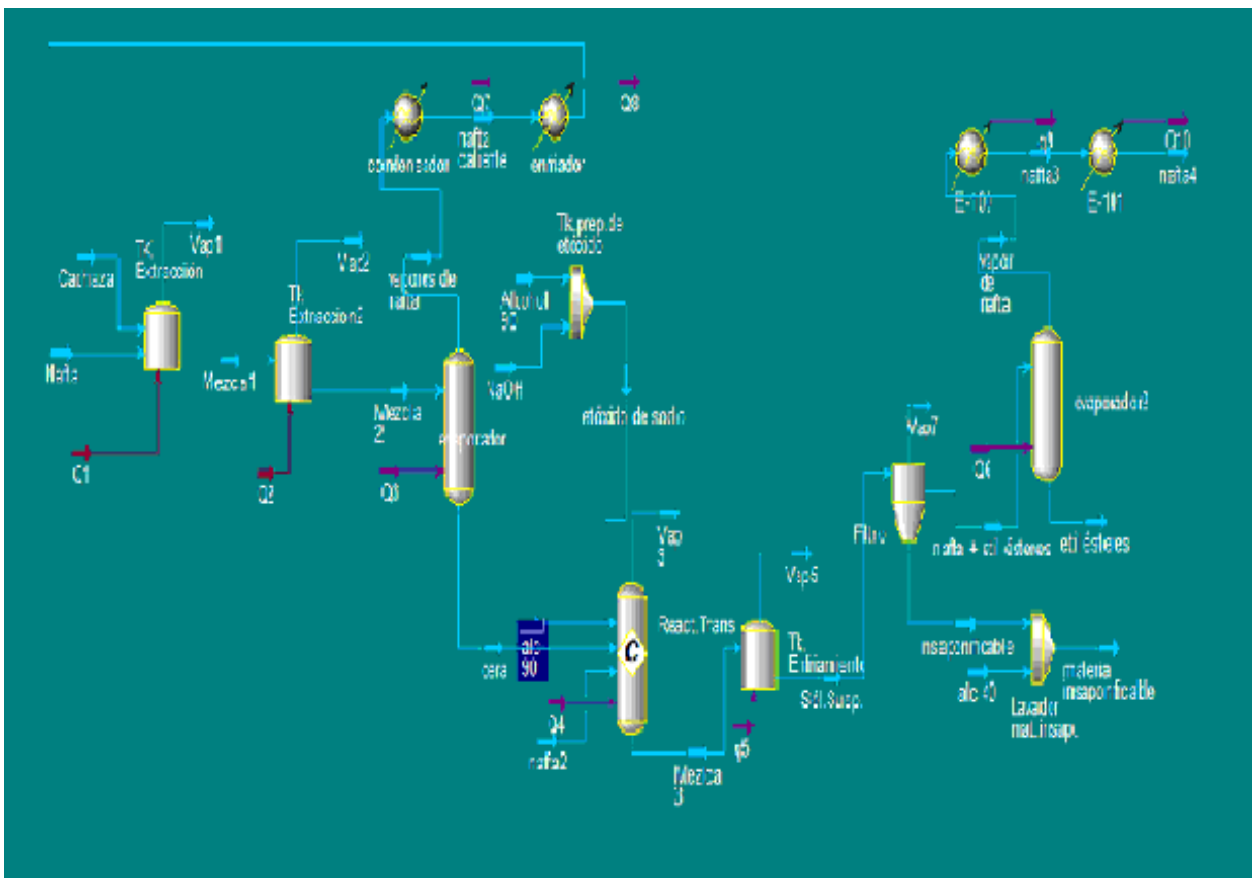


Figura 1 Diagrama de flujo de la tecnología de transesterificación.

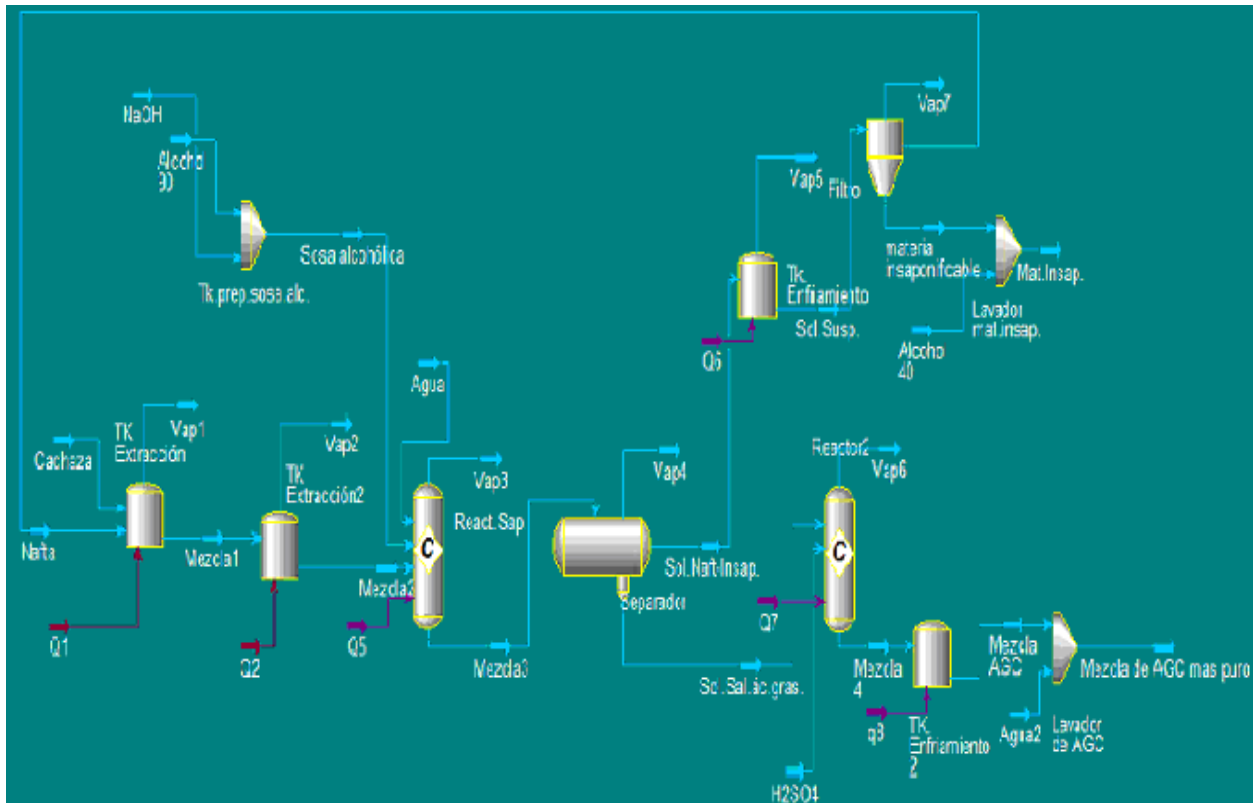


Figura 2 Diagrama de flujo de la tecnología de saponificación.

En el balance de materiales se determinó que del procesamiento de 200 kg de cachaza y 1100 L de nafta mediante saponificación se producen 10 kg de materia insaponificable / batch, sin embargo, por transesterificación solamente se producen 3.75 kg de materia insaponificable / batch, lo que demuestra un rendimiento mucho mayor en el primer caso. Es preciso destacar además que el tiempo de la reacción de saponificación es de 30 minutos consumiendo cada batch aproximadamente 2 horas lo que hace posible la realización de 4 batch diarios por lo que se producen 40 kg de materia insaponificable / día; sin embargo, la reacción de transesterificación es una reacción lenta (4 horas) lo que limita el proceso a 1 batch / día produciendo solamente 3.75 kg de materia insaponificable/día. De esta forma, se evidencia que con la utilización de la tecnología de saponificación se produce 10.67 veces más cantidad de materia insaponificable que por transesterificación, en una jornada de 8 horas.

El dimensionamiento de los equipos necesarios en cada una de las propuestas tecnológicas analizadas reveló que el número de equipos, así como sus dimensiones, cuando se utiliza la saponificación es mayor que para la transesterificación. Es de destacar que en la tecnología por saponificación se emplean dos reactores, uno donde se lleva a cabo la reacción de saponificación y otro para la regeneración de los ácidos grasos mientras que en la transesterificación se requiere solamente uno en el que se lleva a cabo dicha reacción.

El primer reactor y el tanque de enfriamiento en la saponificación tienen una capacidad mucho mayor que sus correspondientes en la tecnología de transesterificación. En ambas tecnologías la nafta se alimenta en la etapa de extracción en una proporción de 11 L por cada kg de cachaza. En la tecnología de saponificación, esta nafta se elimina después de las etapas de reacción química y enfriamiento, lo cual implica una mayor capacidad de los equipos involucrados en dichas etapas. Sin embargo, en la transesterificación la nafta proveniente de la extracción se evapora antes de entrar a la etapa de reacción química, justificándose así la menor capacidad de los equipos utilizados.

3.2 Análisis de requerimientos energéticos.

La tabla 1 que aparece a continuación refleja los requerimientos energéticos para ambas alternativas:

Tabla 1 Requerimientos energéticos para las alternativas tecnológicas.

Servicio	Transesterificación	Saponificación
Vapor saturado (kg/batch)	382.48	111.4
Electricidad (kW/batch)	1.8	4.695
Agua (kg/batch)	2812.60	2805.7725

La tecnología de transesterificación al emplear dos evaporadores que no son necesarios en la de saponificación consume mayor cantidad de vapor saturado que esta. En el caso del consumo eléctrico, en la saponificación es mucho mayor que en la transesterificación, debido a que en este proceso son necesarias 3 bombas por una sola en la transesterificación. Además, en la saponificación se emplean más tanques con agitación lo que representa mayor consumo de energía por el uso de agitadores. El consumo de agua, sin embargo, es similar en ambas tecnologías.

3.3 Análisis económico.

La figura 3 representa los costos de inversión para ambas tecnologías. El valor de la inversión de la tecnología de saponificación (169 557.69 USD) es mayor que el de la transesterificación (109 342.38 USD). Estos valores se deben al empleo de equipamiento con mayores capacidades en la tecnología de saponificación.

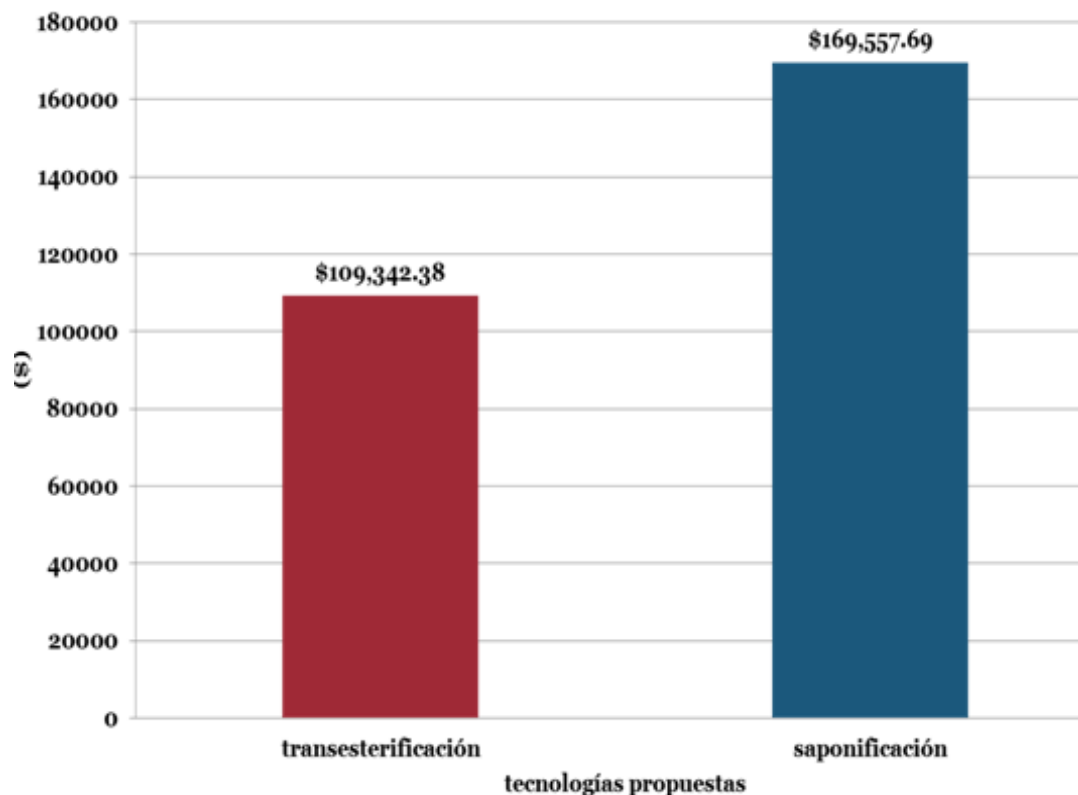


Figura 3 Costo de inversión

Las tablas 2 y 3 muestran el valor total de la producción para ambas alternativas. El costo total de producción de la materia insaponificable por saponificación es de 185 258.51 \$ / año, lo que implica un costo de 19.30 USD para producir 1 kg de este producto. El costo total de producción por transesterificación es de 68 643.90 USD. Por tanto, para producir 1 kg con esta tecnología cuesta 76.27 USD, aproximadamente cuatro veces más que la tecnología de saponificación.

Tabla 2 Valor de la producción por transesterificación.

Productos	Insaponificable	Etil ésteres	Cachaza agotada
Precio de venta	100 \$/kg	80 \$/hl	3 \$/ton
Producción	3.75 kg/día	0.162 hl/día	0.18ton/día
Valor de la producción	375 \$/día	13 \$/día	0.54 \$/día
	90 000 \$/año	3113 \$/año	129.60 \$/año
Valor total de la producción	388.54 \$/día		93 242.60 \$/año

Tabla 3 Valor de la producción por saponificación.

Productos	insaponificable	Ácidos grasos brutos	Cachaza agotada
Precio de venta	100 \$/kg	0.44 \$/kg	3 \$/ton
Producción	40 kg/día	238.64 kg/día	0.72 ton/día
Valor de la producción	4 000 \$/día	105 \$/día	2.16 \$/día
	960 000 \$/año	25 200.38 \$/año	518.4 \$/año
Valor total de la producción	4 107.16 \$/día		985 718.40 \$/año

La venta de producción anual (figura 4) de materia insaponificable retorna una ganancia de 800 459.89 USD / año por saponificación, 32 veces mayor que en la tecnología de transesterificación que reporta un valor de 24 598 USD / año. Valdés y Urrea reportan que los precios del Policosanol como materia prima varían de acuerdo a su pureza, cantidad y proveedor. El Policosanol de origen chino, con una pureza de 60 % tiene un precio de 770 USD / kg si se compra entre 1 a 10 kg y de 750 USD / kg si se compra entre 50 a 100 kg. Los precios de las formas terminadas varían de acuerdo a su presentación, la empresa suministradora y el canal de distribución [6].

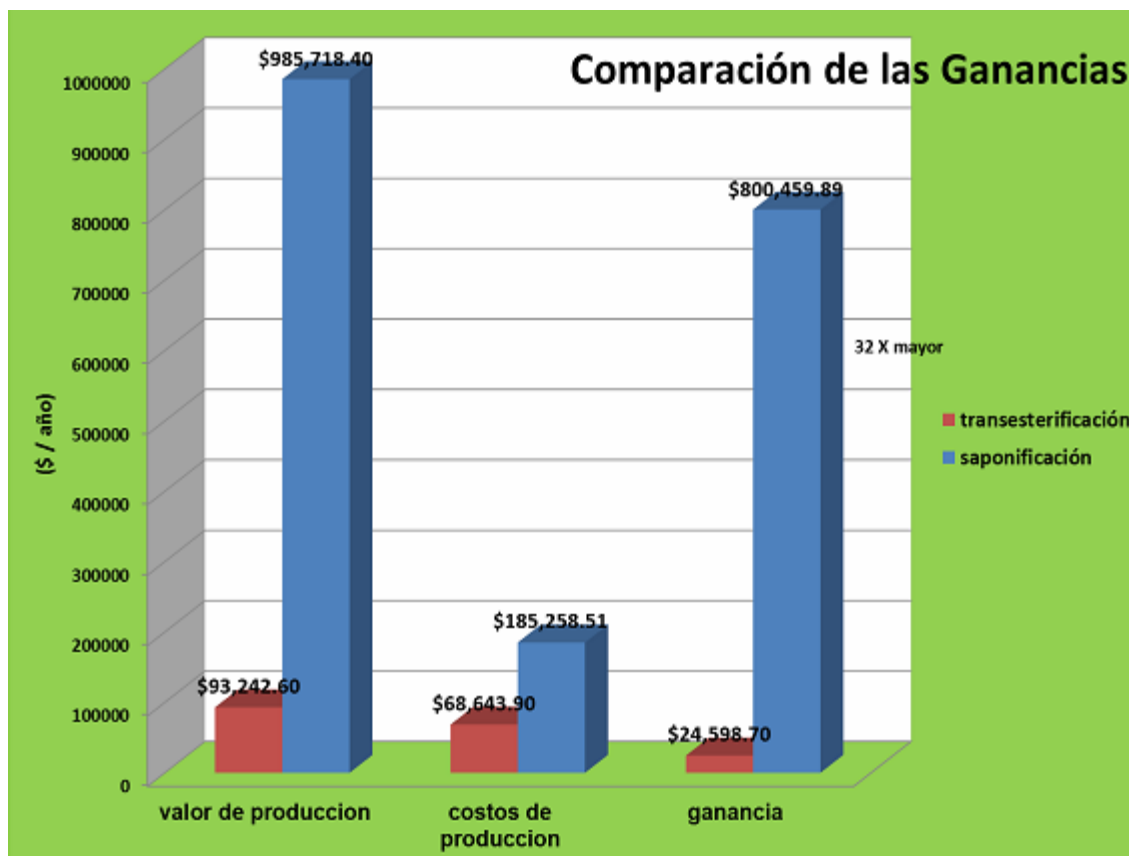


Figura 4 Comparación de las ganancias.

En las tablas 4 y 5 se muestran los resultados de los indicadores dinámicos y en las figura 5 y 6 se representa el perfil del VAN para cada tecnología.

Tabla 4 Valor de los indicadores de factibilidad de la transesterificación.

<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>
Valor Actual neto (VAN)	\$ 189 593.67
Tasa de Rendimiento Interna (TIR)	47 %
Plazo de Recuperación al descontado (PRD)	3.8 años

<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>
Valor Actual neto (VAN)	\$ 4 369 075
Tasa de Rendimiento Interna (TIR)	458 %
Plazo de Recuperación al descontado (PRD)	~ 0.5 años

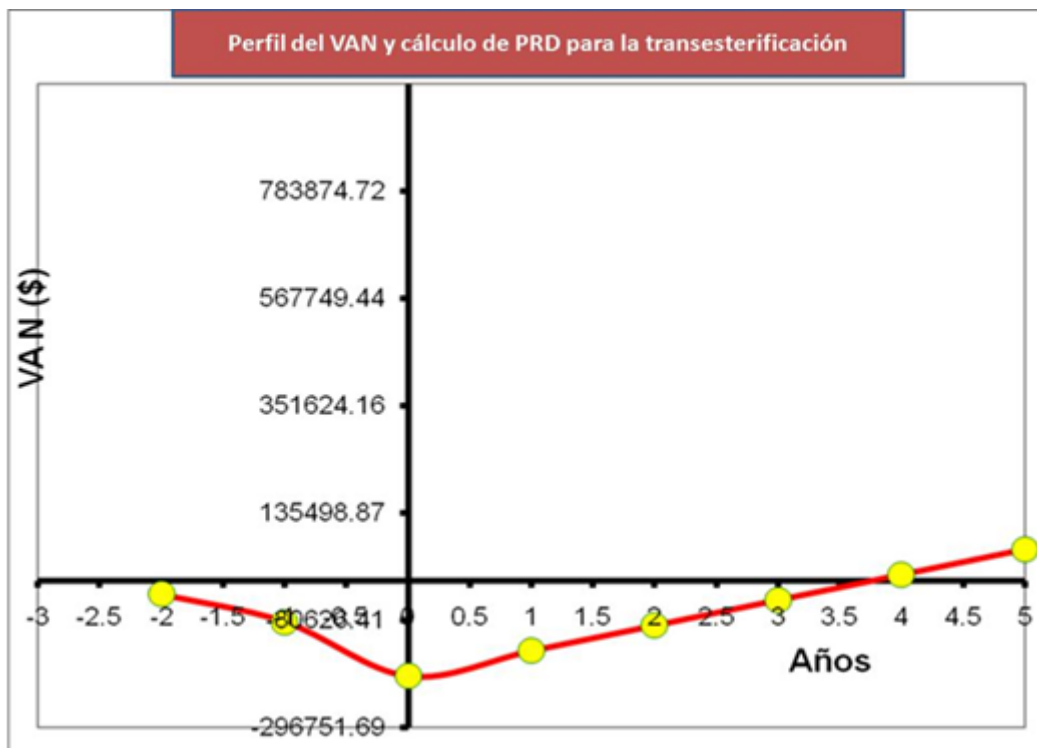


Figura 5 Perfil del VAN para la tecnología de transesterificación.

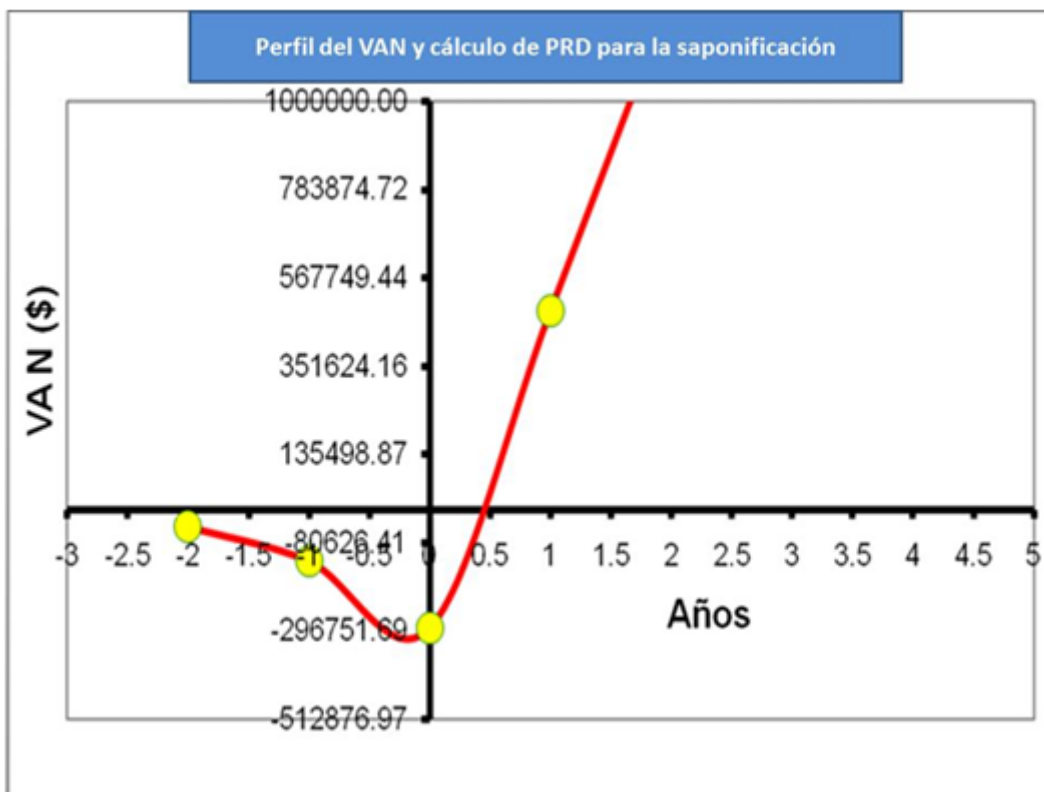


Figura 6 Perfil del VAN para la tecnología de saponificación.

El valor actual neto para la tecnología de saponificación es de 4 369 075.00 USD, mientras que para la transesterificación es de 189 593.67 USD, siendo la tasa interna de rendimiento de 458 % y 47 % respectivamente. El análisis de sensibilidad muestra que el menor precio al que puede venderse la materia insaponificable en la saponificación es de 20 USD / kg, recuperándose la inversión en aproximadamente 4.8 años con VAN de 192 024.70 USD y un TIR de 36 %. Para la transesterificación, este valor es de 85 USD / kg recuperando la inversión en aproximadamente 5 años con un VAN de 125 168.13 USD y un TIR de 36 %. El análisis de estos resultados permite seleccionar la tecnología de saponificación como la alternativa más factible técnica y económicamente, en comparación con la tecnología de transesterificación.

4. Conclusiones.

La tecnología de saponificación reporta una ganancia 32 veces mayor que la de transesterificación con un tiempo de recuperación de la inversión de 0.5 años, mucho menor que el de la transesterificación de 3.8 años. La prueba de sensibilidad demostró que la tecnología de saponificación es mucho más flexible que la de transesterificación. Estos resultados permiten seleccionar la tecnología de saponificación como la alternativa más factible económicamente para el procesamiento de cera de la cachaza.

5. Bibliografía.

[1] Instituto cubano de investigaciones de los derivados de la caña de azúcar, La industria de los derivados de la caña de azúcar, (1980).

5. Bibliografía

[2] G. Nuissier, Composition of sugarcane waxes in rum factory wastes, (2002). [s.n.].

[3] M. W. Empi, et al, Policosanol compositions, extraction from novel sources, and uses thereof, WO/2003/101923 patent, (2003).

[4] R. Martínez, I. Castro y M. Oliveros, Characterization of products from Sugar Cane Mud, Revista de la Sociedad Química de México, 46 (2002) 64-66.

[5] G. A. Laguna, H. J. Magraner, Q. D. Carbajal, V. L. Arruzazabala, F. R. Mas. y M. M. García, A mixture of higher primary aliphatic alcohols, its obtention from sugar cane wax and its pharmaceutical uses,

WO/9,407,830 patent, (1994).

[6] M. G. Valdés, y J. D. D. Urra, Estudio de mercado de los alcoholes de alto peso molecular, BIOMUNDI/IDICT, (2007).

[7] M. Vera, Extracción de alcoholes de alto peso molecular a partir de la cachaza y sus derivados. Disertación doctoral no publicada. Universidad Central de las Villas, Villa Clara, Cuba (2000).

[8] L. R. Feyt, Estudio y diseño de una Planta Demostrativa para la producción de Biodiesel a partir de un residuo de la Industria Azucarera. Trabajo de grado, Ingeniería Química, Universidad Central de las Villas, Villa Clara, Cuba (2007).

[9] M. Peters, K. Timmerhaus, Plant design and economics for chemical engineers, fourth ed., EE.UU, 1990.