

MODELADO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE TÁRTAGO CON SOLVENTES ORGÁNICOS

MODELING AND SIMULATION OF CASTOR OIL EXTRACTION PROCESS WITH ORGANIC SOLVENTS

Yolimar Fernández Camacaro^{1*}, Paolimar Chirino Rivero², Jorge Villasmil Álvarez²,
Jesús Ortiz Betancourt² y Neibys Casdelo Gutiérrez³

¹ Departamento de Energética. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda", Punto Fijo, Venezuela.

² Programa Ingeniería y Tecnología. Universidad Nacional Experimental "Rafael María Baralt". Avenida Rafael Gallardo. Coro, Venezuela.

³ Departamento de Licenciatura en Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Septiembre 4, 2019; Revisado: Octubre 6, 2019; Aceptado: Noviembre 14, 2019

RESUMEN

La presente investigación se enfoca en la simulación de la extracción del aceite de la semilla de tártago (*Ricinus Communis*) mediante el simulador de procesos HYSYS versión 3.2, empleando n-hexano puro como solvente. Los ácidos grasos presentes en la semilla fueron creados partiendo de la estructura química ramificada y propiedades físicas por no estar en la base de datos del simulador. Al modelar las condiciones de operación, se determinó que la presión y temperatura óptimas del proceso son 1689 Kpa y 27,22°C respectivamente, siendo el modelo termodinámico *non-random two liquid* (NRTL) el que representa adecuadamente el comportamiento de las fases sólida y líquida en la extracción, alcanzando un rendimiento del aceite del 40,61%, una densidad líquida de 938kg/m³ y una producción de 6780 kg/día. Al comparar con otros modelos, el porcentaje de error obtenido (<1%) arroja resultados favorables hacia el modelo seleccionado, demostrando la confiabilidad, validez y calidad del aceite obtenido.

Palabras clave: extracción, semilla de tártago; simulación.

ABSTRACT

The present research focuses on simulation of castor (*Ricinus Communis*) seed oil extraction with HYSYS version 3.2 process simulator, using pure n-hexane as solvent.



Copyright © 2019. 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: Yolimar Fernández, E-mail: jimenezoly.10@gmail.com



The fatty acids present in the seed were created from the branched chemical structure and physical properties because they're not included in simulator database. During the modeling of the operating conditions, it was determined that the process optimum pressure and temperature are 1689 Kpa and 27.22°C respectively. The non-random two liquid thermodynamic model, suitably represents the behavior of solid and liquid phase in extraction process, achieving an oil yield of 40.61%, a liquid density of 938 kg/m³ and a production of 6780 kg/day. Comparing with other models, the error percent obtained (<1%) yields favorable results towards the selected model, demonstrating the reliability, validity and quality of obtained oil.

Keywords: castor seed; extraction; simulation.

1. INTRODUCCIÓN

El tártago (*Ricinus Communis*) pertenece a la familia Euforbiáceas, es conocido con los nombres de ricino, higuera, higuera, castor, crotón, entre otros. El aceite de su semilla es rico en ácido ricinoleico (87 a 91%), lo que le confiere el más alto y estable índice de viscosidad entre todos los aceites vegetales, siendo útil en una gran cantidad de aplicaciones incluyendo lubricantes, plásticos, jabones, pinturas, colorantes, productos farmacéuticos y perfumes (Zamora y col., 2011). Igualmente puede ser utilizado como fuente de energía, siendo importante para la obtención de agrodiesel que puede sustituir a algunos derivados del petróleo (Mazzani, 2007), lo que lo ha convertido en una alternativa viable para ser empleado como nueva forma de energía renovable.

Lo antes expuesto, ha intensificado el interés por la obtención de aceites vegetales a través de nuevas técnicas de extracción con el objeto de disminuir el consumo de solventes tóxicos al ambiente, mejorar la calidad del extracto y acortar el tiempo de extracción para aumentar el rendimiento, siendo el hexano, el solvente más utilizado debido a su disponibilidad, coste razonable y falta de reactividad con el aceite, junto con su alto poder disolvente para los ácidos grasos a temperaturas relativamente bajas (García y col., 2017). Por esta razón, la presente investigación tiene como objetivo determinar la calidad del aceite de la semilla de tártago obtenido por la extracción con n-hexano por medio de la simulación del proceso con el software HYSYS versión 3.2, de manera que se lograra modelar las condiciones del proceso que permitan su optimización con un mayor rendimiento del aceite obtenido.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Primeramente fueron definidas las condiciones de la alimentación, indicando los parámetros presión, temperatura, flujo y composición. La presión y la temperatura se fijaron en 1689 Kpa y 27,22°C respectivamente tomando como criterio lo expuesto por Ramanujan (2006) quien establece que a esas condiciones se obtienen mayores tasas de extracción basadas en consideraciones de ahorro económico dentro del proceso. El flujo de alimentación y la concentración de los componentes de la semilla se estableció en base a (Díaz y Meza, 2015), quienes plantean que el flujo de entrada al proceso de extracción de aceite de tártago con solventes orgánicos es de 19 484 kg/día y una composición de diferentes aceites grasos lo cuales se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Composición de la semilla de tártago

<i>Compuesto</i>	<i>Fracción molar</i>
Agua	0,267493
Ácido Ricinoleico	0,470003
Ácido Linoleico	0,018800
Ácido Oleico	0,012200
Ácido Esteárico	0,004000
Ácido palmítico, araquídico, didroxiesteárico y linolénico	0,009000
Albúmina	0,186003
CO ₂	0,032500

Debido a que los ácidos grasos y la proteína (albúmina) no se encontraban en la base de datos del simulador se crearon como componentes hipotéticos. En el caso de los ácidos ricinoleico, linoleico, oleico y esteárico se consideraron sus estructuras moleculares para la estimación de todas sus propiedades por el método predictivo UNIFAC. Los ácidos palmítico, araquídico, didroxiesteárico y linolénico por ser menos relevantes dentro de la composición de grasas de la semilla de tártago, se promediaron sus propiedades para la creación de un componente hipotético llamado dilinoarapalmítico y para la creación de la albúmina se consideraron las propiedades más relevantes como punto de ebullición y densidad, acotando que para ambos compuestos creados sus propiedades fueron estimadas por el método predictivo UNIFAC.

En relación a la selección del modelo termodinámico, se consideraron los métodos propuestos por diferentes autores en distintas investigaciones. Así, se consideró el modelo *non-random two-liquid* (NRTL) propuesto por (De la Rosa y col., 2015), UNIQUAC propuesto por (Dumar y Pérez, 2011) y el *Extended* NRTL para la fase líquida y Peng Robinson para la fase de vapor propuesto por (Castillo y col., 2013), seleccionando aquel que mejor represente el comportamiento del proceso.

Una vez definida la alimentación y el modelo termodinámico a utilizar, se elaboró el diagrama de flujo de proceso partiendo del presentado en la investigación de (Díaz y Meza, 2015) mostrado en la figura 1, dividiendo el proceso en varias etapas y adaptando los equipos a los existentes en el simulador tal como se muestra en la figura 2. En la etapa del pretostado de la semilla se sustituyó una zaranda vibratoria y un secador por lotes de bandeja encargados de retirar la suciedad y la humedad de la semilla respectivamente, por un intercambiador de calor que cumpla dicho propósito. En la etapa de descascarado y transformación de la harina de tártago de sólido a líquido, se sustituyó un molino de bolas, en donde es molida y transformada en una pasta para ser introducidas a un secador rotatorio por un arreglo de mezcladores, difusores e intercambiador, encargado de separar los componentes representativos de la cascara y la semilla en el molino y de remover la humedad en el secador a su temperatura de operación. En la etapa de extracción, se sustituyó una extractora sólido líquido por un arreglo de dos separadores que eliminan gran parte de la humedad y de esta manera promover el contacto del hexano y los ácidos grasos para su posterior extracción, así como un arreglo de intercambiadores, mezcladores y divisores que simule el comportamiento de la extractora. En la etapa de recuperación del hexano se empleó una columna de destilación empacada y un enfriador para recuperar el hexano y enfriarlo a la temperatura requerida para su recirculación. Finalmente en la última etapa se refinó el

aceite sustituyendo una centrífuga, un filtro vibratorio y un evaporador por un arreglo de separadores e intercambiadores con el propósito de eliminar impurezas y llevar la temperatura de las corrientes a las condiciones estándares del proceso.

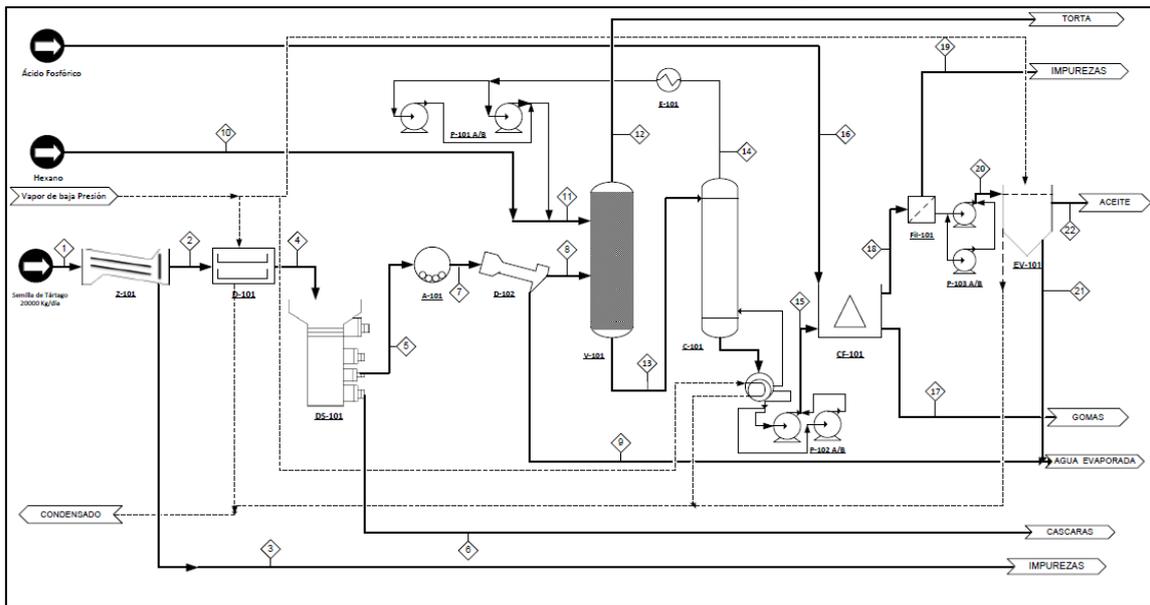


Figura 1. Diagrama de flujo de procesos del proceso de extracción de aceite

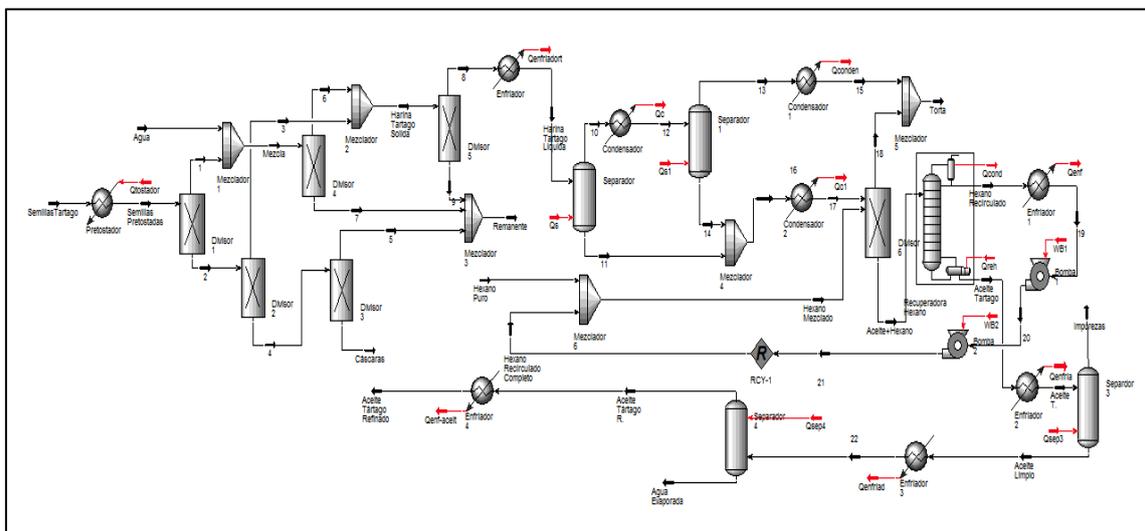


Figura 2. Simulación de proceso de extracción de aceite con solventes orgánicos

Finalmente, para llevar a cabo la simulación del proceso mostrado, se empleó el procedimiento para el modelado de procesos propuesto por Ramanujan (2006), para representar el proceso a partir de la distribución de los ácidos grasos en el aceite definida por (Conceicao et al., 2007), permitiendo realizar los ajustes pertinentes en cada etapa y obtener la composición en cada corriente del proceso de extracción. Los balances de masa considerados en cada etapa de la simulación fueron basados en la entrada y salida del proceso establecido por (Díaz y Meza, 2015) de manera de obtener flujos similares en las etapas del proceso simulado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizada la simulación con los diferentes modelos termodinámicos, se procedió a determinar la densidad líquida del aceite de tártago, rendimiento y

composición final para luego compararlos con autores referenciados. En la tabla 2 se presenta la comparación de los resultados de las composiciones de los ácidos grasos en porcentaje peso a peso (%P/P) presentes en el aceite de tártago con los presentados en la investigación de (Conceicao et al., 2007).

Tabla 2. Comparación de las composiciones de los ácidos grasos presentes en el aceite

Ácido Graso	(Conceicao et al., 2007) %P/P	NRTL		UNIQUAC		EXTENDED NRTL - PR	
		%P/P	%error	%P/P	%error	%P/P	%error
Ricinoleico	90,2	89,89	0,34	89,62	0,64	86,30	4,32
Linoleico	4,4	4,38	0,45	4,37	0,68	4,33	1,59
Oleico	2,8	2,78	0,71	2,77	1,07	2,75	1,79
Esteárico	0,9	0,88	2,22	0,88	2,22	0,87	3,33
Dilinoarapalmítico	1,7	1,62	4,71	1,63	4,12	2,13	25,29

Se observa que el comportamiento del modelo termodinámico NRTL presenta una distribución de ácidos grasos en un 99,55% con un margen de error menor al 1%, en comparación con los modelos termodinámicos UNIQUAC y Extended NRTL-PR cuyo porcentaje de error es superior al modelo NRTL. En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de la densidad líquida empleando los tres modelos termodinámicos con los obtenidos experimentalmente por (Fernández y col., 2014), observándose nuevamente que el modelo termodinámico NRTL muestra mejores resultados en cuanto a la densidad líquida del aceite de tártago, con un margen de error menor con respecto a los otros modelos termodinámicos.

Tabla 3. Comparación de la densidad líquida del aceite obtenido

Parámetro	(Fernández y col., 2014) Kg/m ³	NRTL		UNIQUAC		EXTENDED NRTL - PR	
		Kg/m ³	%error	Kg/m ³	%error	Kg/m ³	%error
Densidad Líquida	959	938,8	2,00	938,7	2,12	927,2	3,32

Por otra parte, en la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en relación al porcentaje de rendimiento del aceite obtenido empleando los tres modelos termodinámicos con los obtenidos experimentalmente por (Fernández y col., 2014), el cual permite definir junto con los parámetros anteriores la calidad del aceite. Se observa que el porcentaje de error obtenido con el modelo termodinámico NRTL es menor que los obtenidos con los otros modelos estudiados.

Tabla 4. Comparación del porcentaje de rendimiento del aceite obtenido

Parámetro	(Fernández y col., 2014) %	NRTL		UNIQUAC		EXTENDED NRTL - PR	
		%	%error	%	%error	%	%error
Rendimiento	40,60	40,61	0,02	40,49	0,27	35,52	12,51

Lo antes expuesto permite demostrar que el modelo *non random two liquids* es que se adapta mejor al proceso de extracción de aceite de tártago con solventes orgánicos, favoreciendo de esta forma la confiabilidad, validez y calidad del aceite obtenido, cuyos valores se aproximan a los reportados por los autores de referencia.

4. CONCLUSIONES

1. El simulador de procesos químicos HYSYS versión 3.2 arroja resultados que corresponden con las condiciones reales de operación en la de producción de aceite de tártago, siendo el modelo termodinámico NRTL el que representa adecuadamente el comportamiento de las fases sólida y líquida en la extracción.
2. El aceite obtenido en la simulación presentó excelentes especificaciones de calidad con una densidad de 938,8 kg/m³, un rendimiento de 40,61% y con una composición peso a peso del ácido ricinoleico de 89,99%.

REFERENCIAS

- Castillo, A., Labrada, B., Penedo, M. y Sánchez, A., Simulación del proceso de producción de biodiesel a partir del aceite de *Jatropha Curcas.*, Tecnología Química, Vol. 33, No. 2, 2013, pp. 107-120.
- Conceicao, M., Candeia, R., Silva, F., Bezerra, A., Fernandez, V., & Souza, A., Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel., Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 11, No. 5. June 2007, pp. 964-975.
- De la Rosa, L., Henríquez, E., y Sánchez, E., Diseño y simulación de una planta para la producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas L.* en el departamento de Bolívar., Revista ION, Vol.28, No. 1, 2015, pp. 48-152.
- Díaz, J., y Meza, L., Diseño de una planta de producción de biodiesel a partir de la semilla de tártago., Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda”, Falcón, Venezuela, 2015.
- Dumar, K., y Pérez, A., Análisis de ciclo de vida para la producción de biodiesel a partir del aceite de higuerilla y etanol., Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Químico, Escuela de Ingeniería Química en Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia , 2011.
- Fernández, Y., García, A., y Gutiérrez, M., Obtención de biodiesel a partir de aceite de tártago (*Ricinus Communis*) a escala laboratorio., Trabajo de grado presentado en opción al Grado Científico de Magister Scientiarum en procesos de Análisis Químico, Universidad de Camagüey, Cuba, 2014.
- García, D., Espinoza, C., Díaz, Y., Rondón, M., Fernández, E., y Piloto, R., Extracción etanólica de aceite de semillas de Moringa oleífera., Investigación y Ciencia, Vol. 26, No. 74, 2017, pp. 32-38.
- Mazzani, E., El tártago: la planta, su importancia y usos., Ceniap Hoy, Vol. 01, No. 14, 2007, pp. 1-9.
- Ramanujan, P., Process simulation, modeling & design for soybean oil extraction using liquid propane., Research presented as requirements of the degree of Bachelor of Engineering, Mumbai University, Mumbai, India, 2006.
- Zamora, F., Durán, N., Medina, M., Torres, D., Acosta, Y., Moreno, R., Alfonso, S., y Sánchez, A., Comportamiento agronómico de cultivares de tártago (*Ricinus Communis L.*) en el sector Cuabana, Municipio Falcón, Estado Falcón, Venezuela., Multiciencias, Vol. 11, No. 2, 2011, pp. 129-135.