

Artículo Original

**OBTENCIÓN DE ÉSTERES A PARTIR DE FRACCIONES
DESTILADAS DE ACEITE DE FÚSEL: PARTE I**

**OBTAINING ESTERS FROM DISTILLATED FRACTIONS OF
FUSEL OIL: PART I**

Irenia Gallardo Aguilar ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-6360-6582>
Yenisleidy Martínez Martínez ² <https://orcid.org/0000-0002-0229-129X>
Ana Celia de Armas Martínez ¹ <https://orcid.org/0000-0002-0147-0704>
Nancy López Bello ¹ <https://orcid.org/0000-0002-9570-6983>

¹ Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Carretera a Camajuaní, km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

² Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Víctor Lamas 1290, Concepción, Región Biobío, Chile.

Recibido: Febrero 4, 2022; Revisado: Marzo 9, 2022; Aceptado: Marzo 23, 2022

RESUMEN

Introducción:

Los alcoholes obtenidos por destilación del aceite de fúsel, son un gran potencial en la obtención de ésteres como el acetato de etilo, acetato de n-propilo, acetato de isobutilo y acetato de isoamilo. Estos productos constituyen materias primas en diferentes industrias, especialmente en la alimenticia.

Objetivo:

Determinar las condiciones experimentales para la obtención de ésteres, como productos de alto valor, mediante la esterificación de fracciones destiladas del aceite de fúsel.

Materiales y Métodos:

Se realizó un diseño experimental ^{2k} para la obtención de ésteres de la fracción destilada 79 - 108 °C del aceite de fúsel. Las variables independientes fueron: relación alcohol/ácido acético y tiempo de reacción y el rendimiento la variable respuesta.

Resultados y Discusión:

En la esterificación de la fracción destilada del aceite de fúsel de 79 - 108 °C los mejores resultados se alcanzaron cuando se emplearon las dos variables independientes en sus máximos niveles. Se obtuvo un mayor rendimiento de éster formado para el



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: Irenia Gallardo, E-mail: irenia@uclv.edu.cu



acetato de isobutilo con 42,52 %, seguido del acetato de n-propilo con 13,73 % y en una menor proporción el acetato de etilo con 2,96 %.

Conclusiones:

Los rendimientos determinados, a las muestras purificadas de las reacciones de esterificación, indicaron la presencia en todas las fracciones destiladas de acetato de etilo, acetato de n-propilo y acetato de isobutilo. La mayor proporción obtenida de los ésteres, por cromatografía, se corresponde con sus puntos de ebullición en el rango de temperaturas en que fueron obtenidas las fracciones destiladas.

Palabras clave: aceite fúsel; cromatografía; ésteres; fracción destilada; rendimiento.

ABSTRACT

Introduction:

The alcohols obtained by distillation of fusel oil have great potential for obtaining esters such as ethyl acetate, n-propyl acetate, isobutyl acetate and isoamyl acetate. These products constitute raw materials in different industries, especially in the food industry.

Objective:

To determine the experimental conditions for obtaining esters, as high-value products, by esterification of distilled fractions of fusel oil.

Materials and Methods:

A 2^k experimental design was carried out to obtain esters from the distilled fraction 79 - 108 °C fraction of fusel oil. Independent variables considered were alcohol/acetic acid ratio and reaction time and the yield was the response variable.

Results and Discussion:

In the esterification of the distilled fraction of fuel oil from 79 - 108 °C, the best results were achieved when the two independent variables were used at their maximum levels. The highest yield of ester formed was obtained for isobutyl acetate with 42.52%, followed by n-propyl acetate with 13.73% and, to a lesser extent, ethyl acetate with 2.96%.

Conclusions:

The yields determined from the purified samples of the esterification reactions indicated the presence of ethyl acetate, n-propyl acetate and isobutyl acetate in all the distilled fractions. The highest proportion of esters obtained by chromatography corresponds to their boiling points in the range of temperatures in which the distilled fractions were obtained.

Keywords: fusel oil; chromatography; esters; distilled fraction; yield.

1. INTRODUCCIÓN

La fermentación alcohólica es una reacción compleja, donde, además del etanol y el agua como componentes mayoritarios, los cultivos impuros de levaduras producen otras sustancias denominadas congéneres. Algunos congéneres comunes son: acetona, metanol, acetato de etilo, 2-propanol, 1-propanol, isobutanol, 1-butanol, ácido acético, alcohol amílico, 3-metil-1-butanol o furfural. Los alcoholes superiores dentro de estos

congéneres son los llamados aceites de fúsel (Íñiguez, 2010).

El aceite de fúsel es un subproducto de la producción de alcohol formado en el proceso de fermentación y separado en la destilación (Safieddin y col., 2020). También conocido como alcohol de fúsel, se forma cuando se produce la fermentación alcohólica a temperaturas más altas, con pH bajos, y cuando la actividad de la levadura está limitada por el contenido de nitrógeno (Shenbagamuthuraman y col., 2022).

Lo componen diversos alcoholes como el etanol y otros de orden superior, como el 1-propanol, 2-propanol, butanol (varios isómeros), alcohol amílico, furfural y otros compuestos en menor proporción (Rodríguez y col., 2021). Estos componentes, aunque presentes en pequeñas proporciones, deben extraerse en la producción del alcohol etílico durante la etapa de rectificación, ya que afectan su calidad y en consecuencia el aroma y el sabor de las bebidas obtenidas a partir de él (Gallardo y col., 2011).

El aceite de fúsel está presente en la sidra, aguamiel, cerveza, vino y bebidas espirituosas. Concentraciones excesivas de estas fracciones pueden causar los sabores descritos a veces como picante o caliente. Las proporciones, en que se encuentren los alcoholes superiores y demás compuestos que forman el aceite de fúsel, van a depender de la destilería de la cual provengan (Awad y col., 2018).

En la columna de rectificación del proceso de concentración del etanol se secciona el destilado en tres fracciones: cabeza, corazón y cola y es donde se eliminan los compuestos indeseables, mayormente en las fracciones denominadas cabeza y cola (Íñiguez, 2010). El rendimiento de aceite de fúsel puede oscilar entre 1 y 11 L por cada 1 000 L de alcohol producido (base absoluta) según condiciones de fermentación y destilación (Baião y col., 2018).

El aceite de fúsel, puede ser utilizado para la obtención de compuestos de alto valor agregado, se puede mezclar y emplearlo como combustible en generadores de vapor (Mendoza y col., 2021) o mezclarlo con la gasolina en lugar del combustible diésel (Ağbulut y col., 2020). También se comercializa para su utilización como solventes en algunas aplicaciones industriales, después de eliminarle el agua y etanol que contiene (Rodríguez y Álvarez, 2018). La producción de ésteres a partir de los alcoholes del aceite de fúsel puede generar compuestos de interés industrial como agentes saborizantes y plastificantes. Ésteres como el acetato de etilo, de isobutilo o isoamilo tienen una valiosa aplicación en las industrias alimentaria y química (Baião y col., 2018).

López (2005) obtuvo acetato de etilo a partir de las impurezas de cabeza del proceso de rectificación de etanol, las cuales son ricas en acetato de etilo. Empleó métodos físicos de lavado del etanol, posterior rectificación y reacción química con ácido acético empleando ácido sulfúrico como catalizador.

Este trabajo tiene como objetivo determinar las condiciones experimentales para la obtención de ésteres, como productos de alto valor, mediante la esterificación de fracciones destiladas del aceite de fúsel.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la obtención de los ésteres, a partir de la destilación del aceite de fúsel procedente de una destilería cubana, se emplea la fracción destilada de 79 – 108 °C. Según resultados reportados por Kujawski y col., (2002), las principales reacciones de

esterificación que se pueden presentar en la fracción seleccionada deben ser las mostradas en la figura 1.

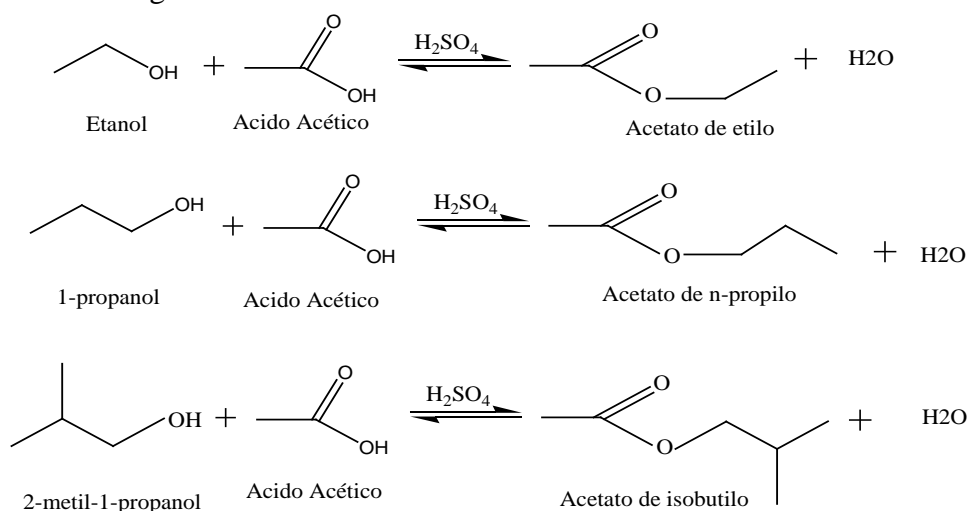


Figura 1. Reacciones de esterificación con ácido acético

Para la realización de los experimentos se emplea un diseño factorial completo 2^K , las variables independientes son: relación volumétrica de alimentación alcohol/ácido acético (X_1) y tiempo de reacción (X_2). La relación alcohol/ácido se selecciona sobre la base de lo reportado en técnicas para la obtención de ésteres, donde se plantea que en la esterificación uno de los reactantes debe estar en exceso para desplazar el equilibrio hacia los productos. En las técnicas reportadas para desplazar el equilibrio de la reacción hacia la formación del éster, en el proceso de esterificación, se considera trabajar en exceso de alcohol (Hernández y col., 2010). Para el tiempo se seleccionaron los niveles según lo obtenido por López (2005).

Estas variables y sus niveles aparecen en la tabla 1, así como la matriz de los experimentos en la tabla 2.

Tabla 1. Variables y sus niveles

<i>Variables</i>	<i>Nivel superior</i>	<i>Nivel inferior</i>
X_1 (volumen)	1,5	1,2
X_2 (min)	45	30

Tabla 2. Matriz de los experimentos

<i>Experimento</i>	X_1	X_2
1	+	-
2	-	-
3	+	+
4	-	+

Inicialmente se colocan 60 ml de alcohol de la fracción de 79 - 108 °C en un matraz de boca esmerilada de 250 ml. Se añade la cantidad establecida de ácido acético para cumplir con las diferentes relaciones de alimentación. La mezcla se agita con agitador magnético a medida que se agregan 7,5 ml de ácido sulfúrico, gota a gota, actuando como catalizador. Una vez efectuado el montaje se calienta a reflujo la reacción durante el tiempo fijado acorde al diseño. Finalizado el tiempo de reacción, se deja enfriar el

contenido del matraz, el cual contiene los ésteres formados junto al ácido sulfúrico y al alcohol y ácido acético que no reaccionaron.

Las muestras obtenidas se lavan con agua fría, pues muchos de los compuestos son solubles en ella y facilita la posterior separación de las fases. La fase orgánica separada se lava con solución de bicarbonato de sodio y se realizan diferentes lavados, con una mezcla de agua y solución saturada de cloruro de sodio, hasta que el valor del pH de la solución acuosa esté cercano a siete. Cada vez que se realice un lavado, se separa la fase acuosa de la orgánica. Finalmente se añade sulfato de sodio para eliminar el agua que pueda quedar. El esquema que resume el procedimiento a seguir se muestra en la figura 2.

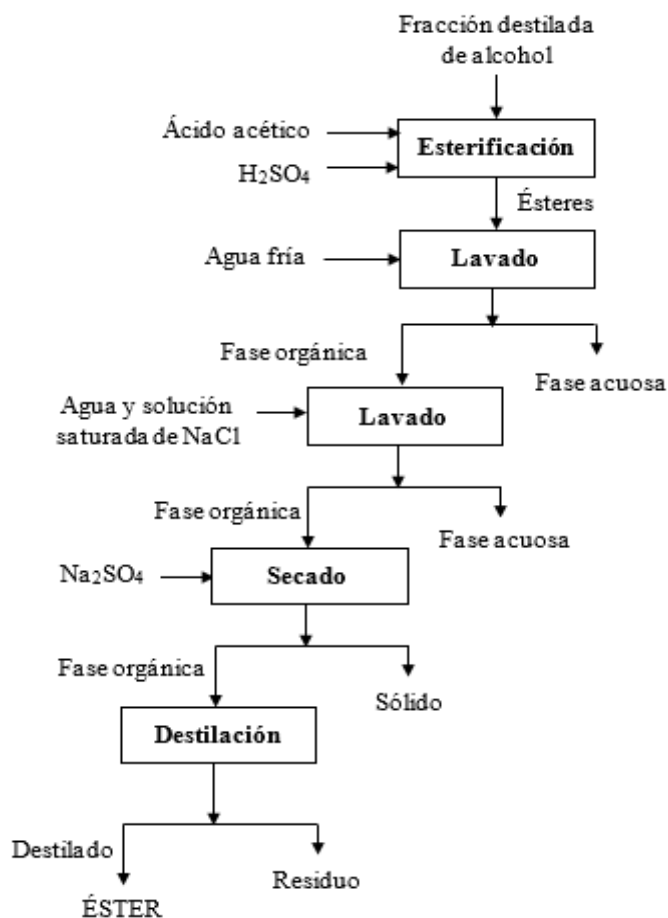


Figura 2. Diagrama para la obtención de ésteres a partir del aceite de fúsel

Una vez realizados todos los lavados se destila el producto deseado para purificarlo, en dependencia de los puntos de ebullición de los componentes que deben estar presentes. Siendo en este caso:

- Acetato de etilo: 77,15 °C
- Acetato de n-propilo: 101,6 °C
- Acetato de isobutilo: 116,55 °C

Se miden los volúmenes de cada fracción destilada y se determina el rendimiento, como variable respuesta del estudio. El rendimiento se calcula según la ecuación 1, a partir de la relación de los moles de éster obtenido entre los moles teóricos (si todo el alcohol se

transformara en éster) para un solo tipo de alcohol, o para la mezcla de alcoholes que es como se trabaja en esta investigación.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Volumen}_{\text{éster}} * \frac{\rho_{\text{éster}}}{M_M(\text{éster})}}{\text{Volumen}_{\text{alcohol}} * \frac{\rho_{\text{alcohol}}}{M_M(\text{alcohol})}} \quad (1)$$

Donde:

$\text{Volumen}_{\text{éster}}$ - volumen de la fracción de éster destilada (L).

$\rho_{\text{éster}}$ - densidad del éster (kg/L).

$M_M(\text{éster})$ - masa molecular del éster (kg/kmol).

$\text{Volumen}_{\text{alcohol}}$ - volumen de alcohol destilado (L).

ρ_{alcohol} - densidad del alcohol destilado (kg/L).

$M_M(\text{alcohol})$ - masa molecular del alcohol (kg/kmol).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados experimentales

La fracción de alcohol destilada del aceite de fúsel, empleada en la esterificación, fue caracterizada por cromatografía gaseosa y tiene como componentes fundamentales los que se exponen en la tabla 3. En mayores proporciones se encuentran el isobutanol, el n-propanol y el etanol, por lo que los ésteres mayoritarios obtenidos en la reacción serán los correspondientes a estos tres alcoholes.

Tabla 3. Compuestos y composiciones de la fracción destilada 79-108 °C (% masa)

<i>Compuestos</i>	<i>Fracción 79-108 °C</i>
Acetaldehído	0,0091
Acetato de etilo	0,0169
Metanol	0,0227
Etanol	0,8292
n-propanol	20,1942
Isobutanol	78,4602
Alcohol isoamílico	0,4677

Los resultados de la purificación de los ésteres en volúmenes se presentan en la tabla 4 para cada fracción destilada, donde se observa que el mayor volumen obtenido fue en las condiciones del experimento 3. De forma general, en las dos últimas fracciones hay más cantidad de éster formado, correspondientes al acetato de n-propilo y acetato de isobutilo, siendo proporcionales a la presencia de sus alcoholes en la muestra inicial.

Tabla 4. Volúmenes obtenidos de las fracciones destiladas de los ésteres (ml)

<i>Experimento</i>	<i>Fracción 77-78 °C</i>	<i>Fracción 101-102 °C</i>	<i>Fracción 116-118 °C</i>	<i>Total</i>
E1	2,6	20	31	53,6
E2	1,8	16	42	59,8
E3	3,4	20	42	65,4
E4	3,2	21	31	55,2

3.2 Caracterización de las muestras

Los ésteres obtenidos fueron caracterizados mediante análisis de espectrometría infrarrojo (figura 3) y por cromatografía gaseosa, de forma similar a la realizada para los alcoholes por Martínez y col., (2011). En la figura 4 se observa el cromatograma para las tres fracciones destiladas del experimento 3, al ser el de mayor volumen total obtenido.

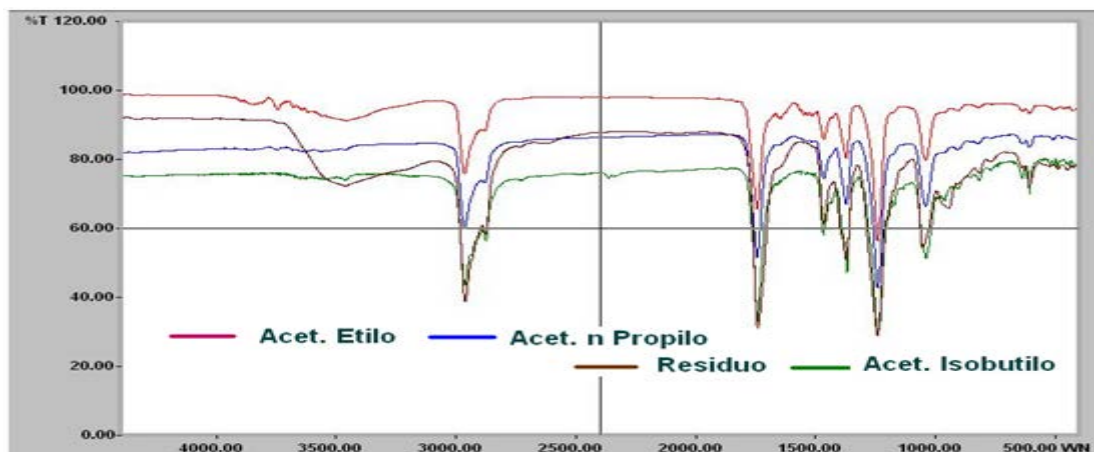


Figura 3. Espectros combinados para los ésteres y residuos

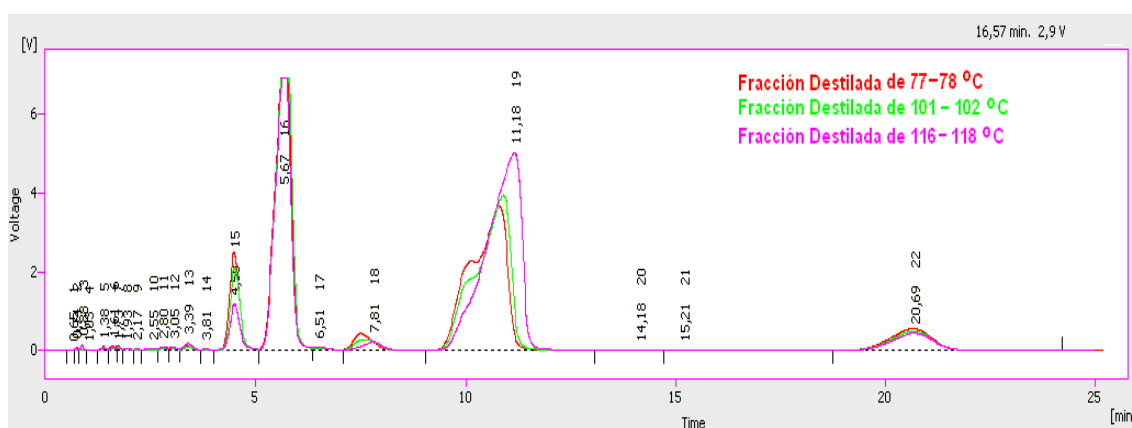


Figura 4. Cromatogramas superpuestos de las fracciones de ésteres destilados del experimento 3

Como se observa en el cromatograma, los picos aparecen prácticamente todos al mismo tiempo. Las áreas son diferentes en dependencia de la distribución de los componentes en las diferentes fracciones, por lo que puede decirse que todos los componentes aparecen en las tres fracciones destiladas de ésteres. Mediante el cromatograma y la concentración de los compuestos en la curva patrón se determinaron las composiciones de cada fracción en este experimento. Los valores se exponen en la tabla 5.

Tabla 5. Composición de las fracciones del experimento 3 (% masa)

Compuesto	Fracción 77-78 °C	Fracción 101-102 °C	Fracción 116-118 °C
Acetato de etilo	0,37	0,29	0,66
Etanol	1,16	0,87	0,57
Acetato n- propilo	49,72	45,42	19,058

Alcohol propílico	1,38	0,9333	0,7367
Alcohol isobutílico	5,56	-	-
Acetato de isobutilo	38,28	49,76	76,16
Alcohol isoamílico	3,50	2,71	2,79

3.3 Modelos del diseño experimental

Con los volúmenes de la tabla 4, se determinaron los rendimientos de cada fracción, como parámetro de respuesta. Se realizó en base al alcohol total reaccionante, considerando los tres ésteres fundamentales (acetato de etilo, acetato de n-propilo y acetato de isobutilo), tal y como se muestra en la figura 5.

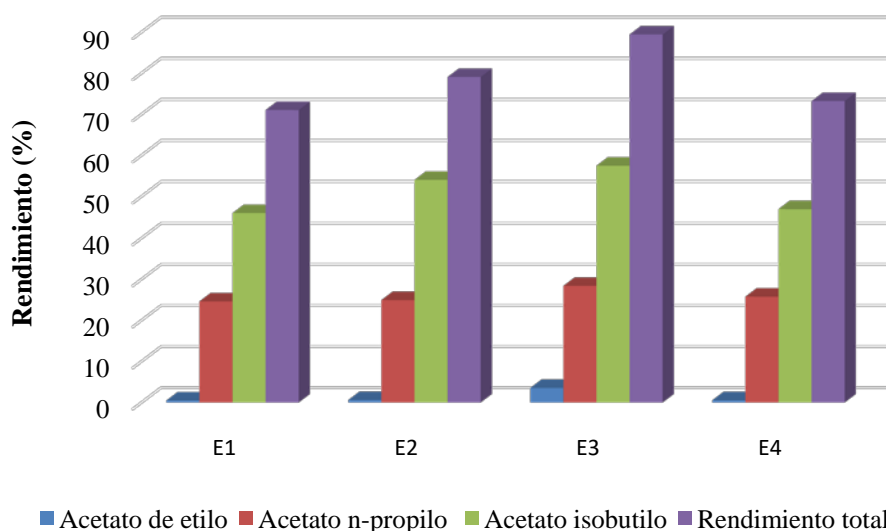


Figura 5. Rendimiento de cada éster y total

Los mayores rendimientos se alcanzan para el experimento 3, cuando se trabajó con las dos variables en su máximo nivel, seguido del experimento 2 en los mínimos niveles. En relación al tipo de éster formado los valores más altos corresponden al acetato de isobutilo, seguido del acetato de n-propilo y, por último, en una ínfima proporción, el acetato de etilo. Ello está acorde a las cantidades de cada alcohol presente en la muestra reaccionante.

El rendimiento de las fracciones destiladas para la muestra de mejores resultados se observa en la tabla 6. En este caso, la mayor proporción de cada uno de los ésteres sale en la fracción destilada a su temperatura de ebullición. Se aprecia un comportamiento irregular entre las fracciones destiladas entre 101-102 °C y la de 116-118 °C para el n-propilo, con rendimientos muy cercanos en ambos destilados. En esto pudo influir la cantidad de azeótropos que forman los alcoholes entre sí, con el agua y con sus ésteres.

Tabla 6. Rendimiento de los ésteres en base al alcohol reaccionante para el experimento 3

<i>Compuestos</i>	<i>Fracción 77-78 °C</i>	<i>Fracción 101-102 °C</i>	<i>Fracción 116-118 °C</i>
Acetato de etilo	2,96	0,10	0,49
Acetato de n- propilo	2,56	13,73	12,10
Acetato de isobutilo	1,73	13,23	42,52

Los modelos obtenidos por el diseño de experimentos, analizados como tendencia, se resumen en las ecuaciones 2, 3, 4 y 5.

$$\text{Rendimiento}_{\text{Acetato de etilo}} = 26,29 - 21,3 * X_1 - 0,838 * X_2 + 0,695 * X_1 * X_2 \quad (2)$$

$$\text{Rendimiento}_{\text{Acetato de n-propilo}} = 48,3 - 20,83 * X_1 - 0,734 * X_2 + 0,658 * X_1 * X_2 \quad (3)$$

$$\text{Rendimiento}_{\text{Acetato de isobutilo}} = 249,76 - 151,26 * X_1 - 5,45 * X_2 + 4,14 * X_1 * X_2 \quad (4)$$

$$\text{Rendimiento}_{\text{total}} = 316,85 - 188,4 * X_1 - 6,85 * X_2 + 5,37 * X_1 * X_2 \quad (5)$$

Donde:

X_1 - relación volumétrica de alimentación alcohol/ácido acético.

X_2 - tiempo de reacción (min).

En ellos se aprecia que las variables con mayor influencia sobre el rendimiento, son la relación de alimentación, seguida del tiempo de reacción, aunque ambas influyen negativamente. Esto significa que, si se disminuyen sus valores, se favorecerá el rendimiento. Aquí se presenta una contradicción, pues en el experimento 3 se trabajó con las variables en los mayores niveles y en la literatura (Hernández y col., 2010), se reporta que las reacciones de esterificación tienen tiempos de reacción mayores que los utilizados en las experiencias. La menor influencia en el rendimiento la tiene la combinación de ambas variables, con coeficiente muy cercano al del tiempo, pero su influencia es positiva.

4. CONCLUSIONES

1. Los rendimientos determinados a las muestras purificadas de las reacciones de esterificación indican la presencia en todas las fracciones destiladas de acetato de etilo, acetato de n-propilo y acetato de isobutilo. La mayor proporción se corresponde con los puntos de ebullición de estos ésteres en el rango de temperaturas en que fueron obtenidas las fracciones destiladas.
2. La combinación de las variables independientes en el rango estudiado tiene influencia positiva sobre el rendimiento de la esterificación como variable respuesta. Aunque la menor relación alcohol/ácido presenta gran influencia sobre el rendimiento, ésta siempre debe ser mayor que la unidad para desplazar el equilibrio hacia la formación de los productos.
3. Dada la aplicación que tienen los diferentes alcoholes presentes en el aceite de fúsel, así como los ésteres que se obtienen a partir de ellos se impone perfeccionar el estudio de su recuperación en las destilerías cubanas.

AGRADECIMIENTOS

A los técnicos del Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas (UCLV) y al técnico Ángel Mollineda Trujillo del Centro de Investigaciones Agropecuarias de la UCLV por la ayuda brindada.

REFERENCIAS

- Ağbulut, Ü., Sarıdemira, S., & Karagözb, M., Experimental investigation of fusel oil (isoamyl alcohol) and diesel blends in a CI engine., *Fuel*, Vol. 267, 2020, 117042. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117042>
- Awad, O.I., Ali, O.M., Hammid, A., & Mamat, R., Impact of fusel oil moisture reduction on the fuel properties and combustion characteristics of SI engine fueled with gasoline-fusel oil blends., *Renewable Energy*, Vol. 123, 2018, pp. 79 - 91. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.019>
- Baião, A.L., Nanuncio, G., dos Santos, P., Meireles, M.A., & Martínez, J., Fusel oil: Water adsorption and enzymatic synthesis of acetate esters in supercritical CO₂., *The Journal of Supercritical Fluids*, Vol. 142, 2018, pp. 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.05.026>
- Gallardo, I., Feyt, R., e Hidalgo, E., Obtención de acetato de isoamilo a partir de aceites fúsel. Simulación del proceso., *Centro Azúcar*, Vol. 38, No. 2, 2011, pp. 44 - 54. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/367
- Hernández, L., Mouloungui, Z., y Sandoval, F., Utilización del proceso de destilación semi-continuo reactiva catalítica en la esterificación del ácido heptanoico., *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, Vol. 9, No. 3, 2010, pp. 323-328. https://www.academia.edu/1108464/UTILIZACION_DEL_PROCESO_DE_DESTILACION_SEMI-CONTINUO_REACTIVA_CATALITICA_EN_LA_ETERIFICACION_DEL_ACIDO_HEPTANOICO
- Íñiguez, J., Algunas consideraciones teórico-prácticas sobre la destilación intermitente en alambique simple de mosto fermentado y ordinario., *Revista Ingeniería Química*, No. 17, 2010, pp. 31 - 51. <https://docplayer.es/53228330-Facultad-de-ingenieria-revista-ingenieria-primero-no-18-agosto-pags-40-56.html>
- Kujawski, W.C., Palczewska, M., Ratajczak, W., Linkiewicz, D., & Michalak, B., Application of Membrane Pervaporation Process to the Enhanced Separation of Fusel Oils., *Chemical Papers*, Vol. 56, No. 1, 2002, pp. 3-6. <https://www.chemicalpapers.com/?id=7&paper=363>
- López, N., Alternativas de obtención de productos de alto valor agregado a partir de bioetanol mediante técnicas de destilación., Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Especialidad Ingeniería Química en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2005.
- Martínez, Y., Gallardo, I., López, N., y Morales, M., Obtención de alcoholes superiores a partir de Fúsel mediante proceso de destilación fraccionada., *Centro Azúcar*, Vol. 38, No. 4, 2011, pp. 8-14. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/384
- Mendoza, J.J., Sánchez, E., Segovia, J.G., Hernández, S., & Orjuela, A., Recovery of alcohol industry wastes: Revaluation of fusel oil through intensified processes., *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, Vol. 163, 2021, 108329. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108329>
- Rodríguez, M.F., Lima, P., Rindoni, G.L., Cardoso, C., & Duarte, V.M., Simultaneous thermal liquefaction of sugarcane bagasse and esterification with ethanol and fusel oil: one-step process for biofuel production., *Chemical Engineering Journal*, Vol.

- 413, 2021, 127432. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127432>
- Rodríguez, R., y Álvarez, J., Aplicación de la química verde para la obtención de bases lubricantes., Ingeniería petroquímica., Vol. 13, No. 1, 2018, pp. 216-219. <https://doi.org/10.24133/cctespe.v13i1.820>
- Safieddin, S.M., Solmaz, H., İpci, D., Calam, A., & Mostafaeid, M., A review on higher alcohol of fusel oil as a renewable fuel for internal combustion engines: applications, challenges, and global potential., Fuel, Vol. 279, 2020, 118516. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001623612031512X?via%3Dihub>
- Shenbagamuthuraman, V., Patel, A., Khanna, S., Banerjee, E., Parekh, S., Karthick, C., Ashok, B., Velvizhi, G., Nanthagopal, K., & Chyuan, H., State of art of valorising of diverse potential feedstocks for the production of alcohols and ethers: Current changes and perspectives., Chemosphere, Vol. 286, Part I, 2022, 131587. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131587>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Dra.C. Irenia Gallardo Aguilar. Realizó la programación del estudio, el análisis e interpretación de los resultados y escritura del artículo.
- M.Sc. Yenisleidys Martínez Martínez. Realizó las corridas experimentales y procesamiento de datos en *Microsoft Excel*.
- Dra.C. Ana Celia de Armas Martínez. Colaboró con la escritura del artículo y dio continuidad al estudio.
- Dra.C. Nancy López Bello. Participó en la concepción de las corridas experimentales.