

**Artículo de Revisión**

**POTENCIALIDADES DEL ACEITE DE FÚSEL COMO  
COMBUSTIBLE Y MATERIA PRIMA PARA LA  
OBTENCIÓN DE ÉSTERES**

**POTENTIALITIES OF FUSEL OIL AS FUEL AND RAW MATERIAL  
FOR OBTAINING ESTERS**

Adiánez Sánchez González <sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2654-0262>  
Ana Celia de Armas Martínez<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0147-0704>

<sup>1</sup> 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.

Recibido: Junio 25, 2022; Revisado: Julio 5, 2022; Aceptado: Julio 19, 2022

**RESUMEN**

**Introducción:**

El aceite de fúsel es un residuo del proceso de rectificación del etanol, compuesto por diferentes alcoholes ligeros donde predomina el alcohol isoamílico y el isobutanol.

**Objetivo:**

Realizar una revisión bibliográfica que permita conocer los principales usos del aceite de fúsel en la actualidad.

**Materiales y Métodos:**

Se consultan trabajos realizados por diferentes autores que permiten identificar las ventajas del uso del aceite de fúsel como combustible alternativo en motores de combustión interna, para la generación de vapor y para la obtención de ésteres.

**Resultados y Discusión:**

El aceite de fúsel como combustible alternativo en motores de combustión interna reduce la densidad, el poder calorífico y el número de cetano de los combustibles modificados. Las mezclas de aceite de fúsel y diésel en estos motores aumentan la presencia de hidrocarburos hasta un 40 % y reduce el contenido de óxidos de nitrógeno en las emisiones de gases. El empleo como combustible en generadores de vapor de las destilerías permite un ahorro de fuel de un 2,12 % en relación al total requerido en 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: Adiánez Sánchez, Email: [asgonzalez@uclv.cu](mailto:asgonzalez@uclv.cu)



proceso de obtención de alcohol. En la esterificación a partir del isobutanol y el alcohol isoamílico se alcanzan rendimientos molares de 57,48 % y 54,04 % para el acetato de isobutilo y acetato de isoamilo respectivamente, ésteres que son demandados en la industria alimenticia.

**Conclusiones:**

El aceite de fúsel tiene amplias utilidades industriales al emplearlo como combustible y como fuente de materia prima para la obtención de productos de alto valor agregado como los ésteres.

**Palabras clave:** aceite de fúsel; alcoholes; combustible; ésteres.

**ABSTRACT**

**Introduction:**

Fusel oil is a residue from the ethanol rectification process, composed of different light alcohols where isoamyl alcohol and isobutanol predominate.

**Objective:**

To carry out a literature review that allows us to know the main uses of fusel oil at present.

**Materials and Methods:**

Works carried out by different authors are consulted to identify the advantages of the use of fusel oil as an alternative fuel in internal combustion engines, for steam generation and for obtaining esters.

**Results and Discussion:**

Fusel oil as an alternative fuel in internal combustion engines reduces the density, calorific value and cetane number of the modified fuels. The blends of fusel oil and diesel in these engines increase the presence of hydrocarbons up to 40 % and reduce the content of nitrogen oxides in gas emissions. Its use as fuel in steam generators in distilleries allows a fuel oil saving of 2.12 % in relation to the total required in the process of obtaining alcohol. In the esterification from isobutanol and isoamyl alcohol, molar yields of 57.48 % and 54.04 % are achieved for isobutyl acetate and isoamyl acetate respectively, esters that are demanded in the food industry.

**Conclusions:**

Fusel oil has wide industrial utilities by employing it as fuel and as a source of raw material for obtaining high value-added products such as esters.

**Keywords:** fusel oil; alcohols; fuel; esters.

**1. INTRODUCCIÓN**

Los residuos de la agroindustria azucarera son un valioso recurso que sustenta las investigaciones dedicadas a diversificar esta industria. Potenciar su mirífico papel como aportadora de compuestos, que luego pueden ser transformados en productos de alto valor agregado, constituye una tarea de relevante importancia.

La demanda mundial de energía renovable y sostenible está aumentando, y uno de los biocombustibles más comunes es el etanol (Tse et al., 2021). La producción de

bioetanol por fermentación de materias azucaradas (melazas dulces) se ha expandido significativamente en los últimos años como alternativas para reemplazar los productos químicos y los combustibles derivados de fósiles. Junto con la producción en masa de bioetanol se encuentran, aunque en menor cuantía, una serie de residuos o impurezas eliminadas en su purificación. Muchas de ellas son mezclas de compuestos constituidas por alcoholes superiores, ácidos, aldehídos y ésteres derivados de los alcoholes y formadas en su mayoría en el proceso de fermentación, entre ellas se encuentra el alcohol o aceite de fúsel (López y col., 2011). Este producto es extraído en el proceso de rectificación del alcohol y se compone de una mezcla de alcoholes, de C<sub>2</sub> y C<sub>5</sub>, lo que representa una fuente barata y renovable de mezcla de alcoholes ligeros (alcohol isoamílico principalmente), obtenidos a partir de la producción de etanol (Urresta, 2014).

El aceite de fúsel se puede mezclar y emplearlo como combustible en generadores de vapor (Ferreira et al., 2013, Mendoza et al., 2021). Asimismo, Rodríguez y Álvarez (2018) y Cunha et al., (2021), refieren su uso como solvente en algunas aplicaciones industriales, después de eliminarle el agua y etanol que contiene. Otros autores como Bergero y Odetti, (2019), Ardebili et al., (2021) y Ozer et al., (2021) mencionan el uso del aceite de fúsel como aditivo en derivados del petróleo y fluidos hidráulicos, mejorando el índice de cetano en el diésel y elevando el octanaje de la gasolina.

Los diferentes tipos de alcoholes encontrados en el aceite de fúsel son muy usados a nivel industrial y a partir de ellos se pueden obtener otros productos de alto valor agregado. Un ejemplo de ello son los ésteres resultantes de las reacciones de esterificación con estos alcoholes, se puede citar el acetato de etilo, de n-propilo, isobutilo y el de isoamilo. Autores como Vilas et al., (2021), Anschau et al., (2021) y Guannan et al., (2021) han profundizado en el tema. Estos compuestos, se caracterizan por su amplio uso en la industria alimenticia, ya que son empleados para la obtención de diferentes esencias frutales artificiales por su semejante olor a frutas, además se destaca su aplicación en la industria de los plastificantes, en la producción de tintas de impresión, en la industria de las pinturas y como solventes (Leiva et al., 2004).

El objetivo del trabajo es realizar una revisión bibliográfica que permita conocer los principales usos del aceite de fúsel en la actualidad.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se realizó una búsqueda sistemática de información en la literatura científica especializada. Los aspectos más importantes y destacados se sintetizaron, por lo que se logró definir el concepto de aceite de fúsel, sus características más relevantes; así como las facilidades que tiene para emplearlo como combustible, para la generación de vapor y en la obtención de ésteres.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### ***3.1 Generalidades del aceite de fúsel***

#### ***3.1.1 Definición del aceite de fúsel***

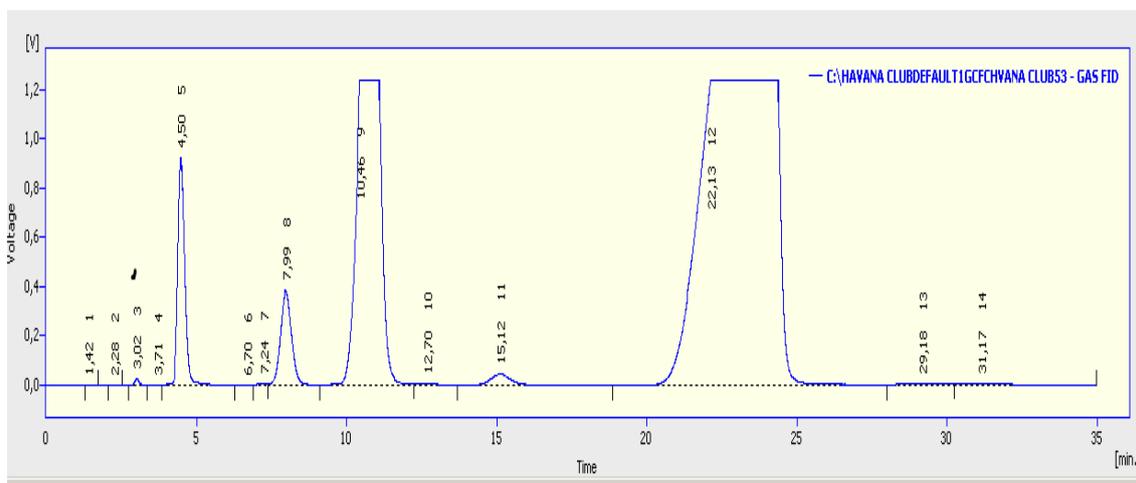
El aceite de fúsel es un líquido relativamente viscoso, de color pardo-oscuro, volátil, con un sabor desagradable y olor asfixiante característico (Bergero y Odetti, 2019) que

puede derivarse de bioetanol de primera generación (azúcar o almidón) y también de segunda generación (biomasa lignocelulósica) (Urresta, 2014).

Safieddin et al., (2020) y Ramos et al., (2022) señalan que el aceite de fúsel es un subproducto de la producción de alcohol formado en el proceso de fermentación y separado en la destilación. Este compuesto tiende a acumularse en la región de rectificación donde la concentración de etanol es aproximadamente 40 - 47% v/v. Autores como Rodrigues et al., (2021), Mendoza et al., (2021) y Shenbagamuthuraman et al., (2022) refieren que está compuesto por alcoholes como el etanol, 1-propanol, 2-propanol, isobutanol, alcohol amílico, furfural, así como trazas de otros componentes (Baião et al., 2020). Su rendimiento, en plantas comerciales, puede oscilar entre 1 y 11 L por cada 1 000 L de alcohol producido (base absoluta) según condiciones de fermentación y destilación (Baião et al., 2018).

### **3.1.2 Principales compuestos en el aceite de fúsel**

La caracterización de los compuestos presentes en el aceite de fúsel se realiza mediante cromatografía de gases (Timár et al., 2021). En la figura 1 se muestra el cromatograma reportado por de Armas, (2012), que corresponde al aceite de fúsel obtenido en una destilería cubana y que fue previamente deshidratado. Los componentes identificados por orden de aparición de los picos, según el tiempo de retención, son el etanol, n-propanol, isobutanol y alcohol isoamílico, encontrándose este último en mayor proporción.



**Figura 1.** Cromatograma del aceite de fúsel deshidratado

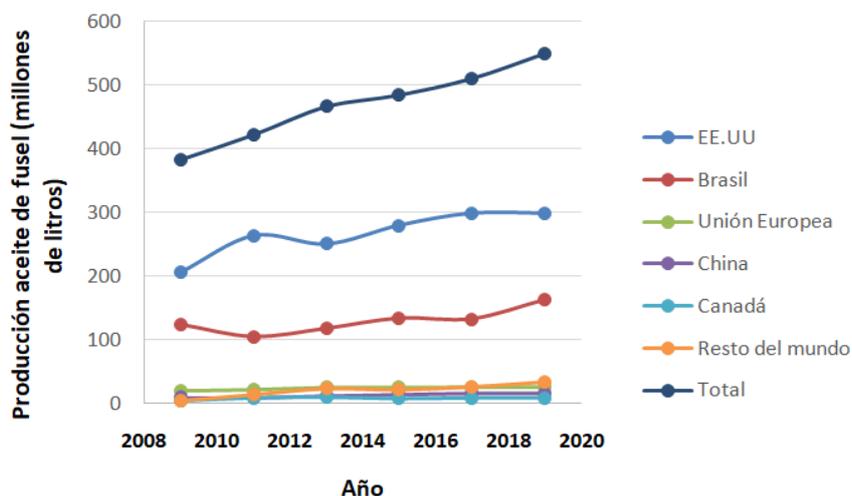
A partir de esta caracterización realizada al aceite de fúsel, se determinaron las composiciones másicas porcentuales presentes en la tabla 1. Estos valores están en relación a lo planteado por Mendoza et al., (2021), quienes refieren que el alcohol isoamílico es el compuesto que se encuentra en mayor proporción (41-87 % p/p), seguido por el agua, isobutanol, etanol, así como otros alcoholes, compuestos que se encuentran en el intervalo de 1-20 %, 1-15 %, 0-6 % y 0-6% p/p respectivamente.

**Tabla 1.** Composición del aceite de fúsel deshidratado caracterizado por cromatografía de gases

<i>Compuesto</i>	<i>Composición (% peso)</i>
Agua	2,4
Etanol	1,4
n-propanol	3,34
Isobutanol	21,71
Isoamílico	70,94

### 3.1.3 Producción mundial del aceite de fúsel

Valores reportados en Mendoza et al., (2021) indican que, hasta 2019, la mayor producción del aceite de fúsel se concentra en Estados Unidos y Brasil, con un 54,36 % y 29,63 % respectivamente. Su producción está en correspondencia con los países más productores de etanol. Ardebili et al., (2020), Mendoza et al., (2021) y Shenbagamuthuraman et al., (2022), reportaron el comportamiento de la producción del aceite de fúsel en el período comprendido del 2009 al 2019 como se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Producción mundial de aceite de fúsel por país en millones de litros

**Fuente:** Mendoza et al., (2021)

Referente a la figura 2, Mendoza et al., (2021) comentó que la producción de aceite de fúsel está muy concentrada geográficamente. Estados Unidos produce más de la mitad del aceite de fúsel del mundo (54,36 %) seguido por Brasil (29,63 %), en la Unión Europea se mantuvo estable en 2019 en 27 millones de litros, mientras que China ocupó el cuarto lugar a nivel mundial durante 2009-2019 produciendo aproximadamente 17 millones de litros.

## 3.2. Usos del aceite de fúsel

### 3.2.1 Aceite de fúsel como combustible

El aceite de fúsel no se puede desechar directamente al medio ambiente, ya que causaría un impacto ambiental indeseable. Por esta razón, investigaciones como las de Ağbulut y col., (2020) y la de Ardebili y col., (2020) han demostrado sus potencialidades para ser

empleados como combustible alternativo en motores de combustión interna debido a sus propiedades, como el número de octanos y densidad.

Ağbulut et al., (2020) utilizan como equipo de prueba un motor marca Lombardini, monocilíndrico con un volumen barrido de 349 cm<sup>3</sup> y acoplado a un dinamómetro de corriente continua marca Kemsan (15 kW de potencia). Cada prueba se realiza a una velocidad constante del motor de 2000 rpm y también a varias cargas del motor (2,5, 5, 7,5 y 10 Nm). Se emplea combustible diésel puro (F0) y mezclas de aceite de fúsel y diésel. El aceite de fúsel se mezcló a razón de 5 %, 10 %, 15 % y 20 % en combustible diésel puro y combustibles de prueba, denominados F5, F10, F15 y F20 respectivamente.

En los resultados obtenidos se corroboró lo planteado por Awad et al., (2017), demostrándose que el aceite de fúsel ayuda a disminuir tanto el índice de cetano como el poder calorífico inferior de los combustibles en las mezclas. Un índice de cetano más bajo provoca un retraso de ignición más prolongado en las mezclas. El hecho de que los combustibles que contienen aceite de fúsel tengan un valor calorífico más bajo y un contenido de humedad más alto que el combustible diésel puro, provoca una disminución tanto la altura del punto máximo de presión del cilindro como la presión máxima del cilindro.

También en el estudio realizado por Ağbulut et al., (2020), las tasas de liberación de calor aumentaron para todos los combustibles de prueba dependiendo del aumento de la carga del motor. La combustión del diésel puro comienza antes en comparación con los combustibles que contienen fúsel. Los combustibles que contienen aceite de fúsel en todas las cargas del motor, tienen valores máximos más altos en términos de liberación de calor, debido a que el combustible de prueba se acumula en la cámara de combustión y se enciende repentinamente.

Relacionado con estos aspectos se encuentran las emisiones de gases a la atmósfera como producto de la combustión. Las emisiones de óxidos de nitrógeno pueden considerarse como los gases de escape más dañinos para los motores de combustión interna. El alto contenido de oxígeno del aceite de fúsel afecta la formación de NOx. Sin embargo, el hecho de que el poder calorífico del aceite de fúsel fuese más bajo que el del combustible diésel, así como la presencia de un alto contenido de humedad ayudan a reducir la formación de NOx. El alto contenido de humedad del aceite de fúsel absorbe la temperatura de combustión y reduce la temperatura posterior a la combustión. Este caso ralentiza la reacción entre las moléculas de nitrógeno y el oxígeno (Awad et al., 2017, Ağbulut y col., 2020). De igual forma Şimşek et al., (2019), obtuvo que el monóxido de carbono emitido se reduce a medida que aumentaba la cantidad de aceite de fúsel en las mezclas con diésel.

Las emisiones de hidrocarburos (HC) se formaron en las zonas de extinción de llamas del cilindro, debido a la imposibilidad de alcanzar la temperatura de combustión del combustible, que es una de las causas de la combustión incompleta. Las emisiones de HC aumentaron hasta un 40 % a medida que aumentaba el contenido de aceite de fúsel en las mezclas. El alto contenido de humedad del aceite de fúsel aumentó los HC al afectar negativamente la calidad de la combustión (Ağbulut y col., 2020).

### **3.2.2. Aceite de fúsel para generación de vapor**

Considerándose la amenaza que constituye el agotamiento de los hidrocarburos provenientes del proceso de extracción del petróleo y el cambio climático; a nivel mundial se han establecido normas y técnicas para evitar la dependencia de estos. Algunos desarrollos tecnológicos actuales indican la tendencia a reducir el consumo de los hidrocarburos fósiles, fomentándose paulatinamente el empleo de combustibles alternativos, como es el caso de los biocombustibles (Aguilar, 2007).

De Armas y col., (2013) consideraron utilizar el aceite de fúsel y flemas alcohólicas como combustible en un generador de vapor. Ello permite la posibilidad de quemar este alcohol o crudo en un quemador mixto, indistintamente según se requiera. De esta forma se logrará disminuir el consumo de fuel en la planta al igual que los costos totales de producción. La destilería analizada en este estudio produce aproximadamente 1,05 t/día de aceite de fúsel. Al determinar el ahorro que representa su uso como complemento del fuel en un generador de vapor, se tuvo en cuenta el poder calórico del aceite de fúsel. Este valor es un 60,7 % del correspondiente al crudo cubano, por lo que la energía producida al quemarlo es de 27,51 kJ/día (7702,8 kJ/año), representando un ahorro de 178,45 t/año de fuel, equivalente al 2,12 % del consumo real. Los cálculos se realizaron para una caldera que necesita 30 t/día de crudo y genera 20 t/h de vapor.

### **3.2.3 Aceite de fúsel para la obtención de ésteres**

Uno de los grandes usos que se les da a los componentes que forman el aceite de fúsel, una vez separados por destilación, es en la obtención de los ésteres correspondientes a los alcoholes de cada fracción destilada (Martínez y col., 2011). En este sentido, también se utiliza como materia prima en la síntesis de ésteres de cadena corta catalizados por enzimas (Anschau et al., 2021).

Ésteres como el acetato de etilo, de isobutilo o isoamilo tienen una valiosa aplicación en las industrias alimentaria y química (Rachida et al., 2017, Baião et al., 2018).

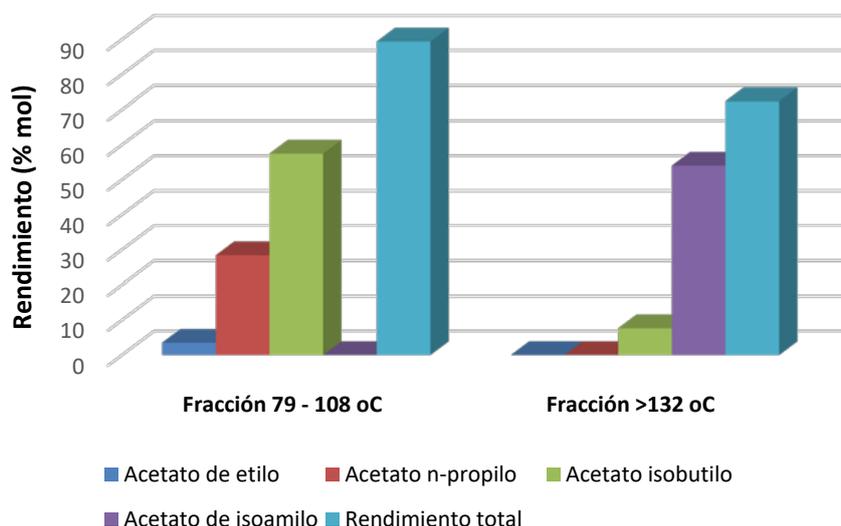
El procedimiento para la esterificación, descrito en Bergero y Odetti, (2019) tiene como etapas fundamentales la reacción química, purificación de la fase orgánica y separación de los ésteres formados. La reacción se realiza con ácido acético, en presencia de un catalizador. En la purificación se emplea el lavado con agua y secado con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  en la fase orgánica para eliminar los compuestos que no reaccionaron. Finalmente se realiza una separación de los ésteres formados empleando la destilación.

Los estudios de Martínez y col., (2011), de Armas, (2012) y Bergero y Odetti, (2019), sobre la obtención de ésteres a partir del aceite de fúsel, se realizaron con ácido acético y las fracciones de los alcoholes que se encuentran en mayor proporción. De esta forma predominó la formación de acetato de isobutilo y de isoamilo. Martínez y col., (2011) emplearon la fracción destilada del aceite de fúsel, obtenida en el intervalo de 79-108 °C, predominando el isobutanol en un 78,46 % p/p. Mientras que, de Armas, (2012) trabajó con la separada a más de 132 °C, que contenía 95,09 % p/p de alcohol isoamílico (tabla 2).

**Tabla 2.** Composición química de fracciones destiladas del aceite de fúsel

<i>Componentes (% peso)</i>	<i>Fracción destilada</i>	
	<i>79-108 °C</i>	<i>&gt;132 °C</i>
Acetaldehído	0,0091	-
Acetato Etilo	0,0169	-
Metanol	0,0227	-
Etanol	0,8292	-
n-Propanol	20,1942	-
Isobutanol	78,4602	4,7
Alcohol Isoamílico	0,4677	95,09

En las reacciones de esterificación de estas muestras predominó la formación de acetato de isobutilo y de isoamilo (figura 3). Unido a ello, en una menor proporción, se formaron ésteres como el acetato de etilo, n-propilo y de amilo, debido a la presencia de pequeñas cantidades de sus respectivos alcoholes, en las fracciones del aceite de fúsel separadas por destilación.



**Figura 3.** Rendimiento de la esterificación de fracciones destiladas del aceite de fúsel

#### 4. CONCLUSIONES

1. El aumento del porcentaje de aceite de fúsel en las mezclas con diésel reduce significativamente la densidad, el poder calorífico y el número de cetano de los combustibles modificados. Sin embargo, en las emisiones de gases producto de la combustión, aumenta la presencia de hidrocarburos hasta un 40 % y reduce significativamente el contenido de óxidos de nitrógeno.
2. El aceite de fúsel como combustible permite ahorrar el consumo de fuel en los generadores de vapor. Para la destilería que se tomó como ejemplo la disminución representó un 2,12 % de la cantidad de fuel requerida para desarrollar el proceso.
3. El isobutanol y el alcohol isoamílico son los compuestos que se encuentran en mayor proporción en el aceite de fúsel. En la obtención de ésteres, empleando sus fracciones destiladas, se alcanzan rendimientos molares de 57,48 % y 54,04 % para el acetato de isobutilo y acetato de isoamilo respectivamente.

## REFERENCIAS

- Ağbulut, Ü., Saridemir, S., & Karagöz, M., Experimental investigation of fúsel oil (isoamyl alcohol) and diesel blends in a CI engine., *Fuel*, Vol. 267, No. 117042, 2020, pp. 2-8. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117042>
- Aguilar, N., Bioetanol de la caña de azúcar., *Revista Avances en Investigación Agropecuaria*, Vol. 11, No. 3, 2007, pp. 25-39.
- Anschau, A., Huerta, A., Vieira, T., Mardioni, J., de Oliveira, G., Molins, C., Juliano, J., Veiga, C.A., & Fernandes, J., Enzymatic synthesis optimization of isoamyl butyrate from fúsel oil., *Acta Scientiarum, Biological Sciences*, Vol. 43, 2021, e54966. <https://doi.org/10.4025/actascibiols.v43i1.54966>
- Ardebili, S.M.S., Solmaz, H., İpci, D., Calam, A., & Mostafaei, M., A review on higher alcohol of fúsel oil as a renewable fuel for internal combustion engines: applications, challenges, and global potential., *Fuel*, Vol. 279, 2020, 118516. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118516>
- Ardebili, S.M.S., Solmaz, H., İpci, D., & Calam, A., Modelling of performance, emission, and combustion of an HCCI engine fueled with fúsel oil-diethylether fuel blends as a renewable fuel., *Fuel*, Vol. 290, 2021, 120017. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.120017>
- Awad, O.I, Ali, O.M, Mamat, R., Abdullaha, A.A., Najafid, G., Kamarulzaman, M.K., Yusria, I.M., & Noor, M.M., Using fusel oil as a blend in gasoline to improve SI engine efficiencies: A comprehensive review., *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, pp. 1232-1242. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.244>
- Baião, A.L., Nanuncio, G., dos Santos, P., Meireles, M.A., & Martínez, J., Fúsel oil: Water adsorption and enzymatic synthesis of acetate esters in supercritical CO<sub>2</sub>., *The Journal of Supercritical Fluids*, Vol. 142, 2018, pp. 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.05.026>
- Baião, A.L., Hatami, T., Martínez, J., & Ciftci, O.N., Biocatalytic production of isoamyl acetate from fusel oil in supercritical CO<sub>2</sub>., *The Journal of Supercritical Fluids*, Vol. 164, 2020, 104917. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844620301686>
- Bergero, A., y Odetti, M.S., Evaluación experimental de la producción batch de acetato de isoamilo a partir de alcohol isoamílico recuperado del aceite de fúsel., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina 2019. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/12816>
- Cunha, I.L.C., Rosa, F., & Kulay, L., Green Coalescent Synthesis Based on the Design for Environment (DfE) Principles: Brazilian Experience., *Sustainability*, Vol. 13, 2021, 12802. <https://doi.org/10.3390/su132212802>
- de Armas, A.C., Obtención de Acetato de Isoamilo a partir de fúsel para la diversificación de la industria alcoholera., Tesis presentada en opción al título de Ingeniera Química, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2012.
- de Armas, A.C, Martínez, Y., López, N., y Gallardo, I., Estrategia de tecnología limpia para una fábrica de alcohol extrafino., *Centro Azúcar*, Vol. 40, No. 4, 2013, pp. 69-76.
- Ferreira, M.C., Meirelles, A.J.A., & Batista, E.A.C., Study of the Fusel Oil Distillation Process. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 52, No. 6,

- 2013, pp. 2336-2351.
- Guannan, M., Ya, L., Sheng, L., Guorong, L., Chengtao, W., & Yanjun, W., Preparation of Natural Equivalent Ester Aromas with Lipase Catalysis of Fúsel Oil., *Journal of food science and technology*, Vol. 39, No. 3, 2021, pp. 80-88. <https://doi.org/10.12301/j.issn.2095-6002.2021.03.009>
- Leiva, F., Orjuela, Á, Boyacá, L, Rodríguez, G y Carballo, L., Reacciones de esterificación por el método de destilación catalítica (Producción de N-Pentil acetato)., *Ingeniería e Investigación*, Vol. 24, No. 2, 2004, pp. 22-26.
- López, N., Gallardo, I., de León J.B., y Rosa, E., Propuesta de una planta para la obtención de un disolvente rico en acetato de etilo a partir de alcoholes de cabeza, en el proceso de purificación de etanol., *Centro Azúcar*, Vol. 38, No. 1, 2011, pp. 33-40. [http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro\\_azucar/article/view/357](http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/357)
- Martínez, Y., Gallardo, I., López, N., y Morales, M.C, Obtención de alcoholes superiores a partir de Fúsel mediante proceso de destilación fraccionada., *Centro Azúcar*, Vol. 38, No. 4, 2011, pp. 8-14. [http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro\\_azucar/article/view/384](http://centrozucar.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 fúsel oil through intensified processes., *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, Vol. 163, 2021, 108329. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108329>
- Ozer, S., Vural, E., & Ozel, S., Effects of fúsel oil use in a thermal coated engine., *Fuel*, Vol. 306, 2021, 121716. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121716>
- Rachida, K., Akacha, N.B., Yosra, M., & Mohamed, G., Enhanced synthesis of isoamyl acetate using liquid-gas biphasic system by the transesterification reaction of isoamyl alcohol obtained from fusel oil., *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, Vol. 22, No. 4, 2017, pp. 413-422. <https://doi.org/10.1007/s12257-016-0616-4>
- Ramos, D., Delalibera, J.R., & Pereira, E., Pilot Design of a Distillation Column to Obtain Isoamyl Alcohol from Fusel Oil., *American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, Vol. 86, No. 1, 2022, pp. 89-103. [https://asrjetsjournal.org/index.php/American\\_Scientific\\_Journal/article/view/7454/2517](https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/7454/2517)
- Rodrigues, M.F., Lima, P., Rindoni, G.L., Cardoso, C., & Duarte, V.M., Simultaneous Thermal Liquefaction of Sugarcane Bagasse And Esterification With Ethanol And Fúsel 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 fuel 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>
- Şimşek, S., Özdalyan, B., & Saygın, H., Improvement of the Properties of Sugar Factory Fusel Oil Waste and Investigation of its Effect on the Performance and Emissions of Spark Ignition Engine., *BioResources*, Vol. 14, No. 1, 2019, pp. 440-452. [https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_14\\_1\\_440\\_Simsek\\_Sugar\\_Factory\\_Fusel\\_Oil](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_14_1_440_Simsek_Sugar_Factory_Fusel_Oil)
- Timár, P., Bálaš, V., & Volek. R., Production of selected compounds from fusel oil., *Journal of International Scientific Publications: Agriculture & Food*, Vol. 9, 2021, pp. 12-19. <https://www.scientific-publications.net/en/article/1002137/>
- Tse, T.J., Wiens, D.J., Chicilo, F., Purdy, S.K., & Reaney, M.J.T., Value-Added Products from Ethanol Fermentation-A Review., *Fermentation*, Vol. 7, No. 4, 2021, 267. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040267>
- Urresta, L.D., Deshidratación de los alcoholes presentes en el aceite fúsel y su conversión en alquenos empleando una zeolita tipo HZSM-5., *Ingeniería y Competitividad*, Vol. 16, No. 2, 2014, pp. 79 - 90.
- Vilas, R., de Lima, R., Mendes, A.A., Freitas, L., Bento, H., de Carvalho, A.K., & de Castro, H.F., Batch and continuous production of biolubricant from fusel oil and oleic acid: Lipase screening, reactor system development, and reaction optimization., *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, Vol.168, 2021, 108568. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108568>

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

## **CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES**

- Est. Adiánez Sánchez González. Realizó el estudio, análisis y escritura del artículo.
- Dra.C. Ana Celia de Armas Martínez. Dirigió el estudio, participó en el análisis y corrección del artículo.