

Evaluación en el proceso químico del aceite y biodiesel del Ricinus communis L. de la variedad INIAP 402. Lodana-Manabí.

Evaluation in the chemical process of the oil and biodiesel of Ricinus communis L. of the INIAP 402 variety. Lodana-Manabí.

Ing. Virginia Lucciola Mendoza Zambrano, Ph.D. Segundo Alcides García Muentes, Ing. Manuel Ricardo Saltos Giler, Lic. Gonzalo Oswaldo García Vincés.

**INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO**

**Julio - diciembre,
V°4-N°2; 2023**

- ✓ **Recibido:** 25/08/2023
- ✓ **Aceptado:** 01/09/2023
- ✓ **Publicado:** 30/12/2023

PAÍS

- 📍 Portoviejo - Ecuador
- 📍 Portoviejo - Ecuador
- 📍 Portoviejo - Ecuador
- 📍 Portoviejo - Ecuador

INSTITUCIÓN

- Universidad Técnica de Manabí
- Universidad Técnica de Manabí
- Universidad Técnica de Manabí
- Universidad Técnica de Manabí

CORREO:

- ✉ virginia.mendoza@utm.edu.ec
- ✉ segundo.garcia@utm.edu.ec
- ✉ manuel.saltos@utm.edu.ec
- ✉ gonzalo.garcia@utm.edu.ec

ORCID:

- <https://orcid.org/0000-0002-5289-8866>
- <https://orcid.org/0000-0002-8152-3406>
- <https://orcid.org/0000-0001-8908-5116>
- <https://orcid.org/0000-0001-9819-7451>

FORMATO DE CITA APA.

Mendoza, V. García, S., Saltos, M. Gracia, G. (2023). Evaluación en el proceso químico del aceite y biodiesel del Ricinus communis L. de la variedad INIAP 402. Lodana-Manabí. Revista G-ner@ndo, V°4 (N°2), 269 – 287.

Resumen

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de química de la UTM e INIAP, con la utilización de semillas higuera en la determinación de la composición química del aceite y biodiesel del Ricinus communis L. variedad INIAP 402. La metodología implementada es investigativa-práctica en el área química, la determinación de los perfiles de los ácidos grasos, se realizó por comparación de los tiempos de retención de los picos con sus respectivos estándares y la cuantificación por el método Villavicencio, 2001 y AOAC 996.06, el extracto orgánico que contiene los ésteres de ácidos grasos se concentra a sequedad con corriente de nitrógeno, la separación se realiza en una columna capilar SUPELCO SP TM 2560 de 100 m*0,25mm*0,2µm, utilizando una programación de temperatura del horno de columna. Los resultados se expresan como gramos de cada ácido graso por cada 100 g de grasa de la higuera variedad INIAP 402, el contenido de aceite es 52,2%, índice de ácidos 2,76 mg KOH*g-1, Viscosidad Cinemática 203,2 mm²*s-1, Densidad Relativa 957,6Kg*m-3, Índice de Peróxidos 0.5≤Meq de peróxido*Kg-1 muestra, Índice de Iodo 87,98g IODO*100g-1, Humedad 646,5 ppm, Índice de Saponificación 171,83 mmg KOH*g-1, la determinación ácidos grasos del Ricinus communis L. variedad INIAP 402 fueron; Palmítico 1,52%, Estearico 1,57%, Eláidico 31,29%, Oleico 3,7%, Linoleico 3,05%, Ricinoleico 84,1%, Palmitoleico 0,11%, Heptadecanoico 0,17%, Linolelaídico 0,67%, Araquídico 0,62%, linoleico 1,9%, Heneicosanoico 1,36%, Eicosadienoico 0,74%, Eruci 0,25%, Tricosanoico 0,24% y para el biodiesel no hay diferencias significativas en los porcentajes.

Palabras claves: Ricinus communis L, aceites, ácidos grasos, humedad.

Abstract

The present research work was carried out in the chemistry laboratories of the UTM and INIAP, with the use of castor seeds in the determination of the chemical composition of the oil and biodiesel of Ricinus communis L. variety INIAP 402. The methodology implemented is investigative-practice in the chemical area, the determination of the profiles of the fatty acids, was carried out by comparing the retention times of the peaks with their respective standards and the quantification by the Villavicencio, 2001 and AOAC 996.06 method, the organic extract that contains The fatty acid esters are concentrated to dryness with a stream of nitrogen, the separation is carried out in a 100 m*0.25mm*0.2µm SUPELCO SP TM 2560 capillary column, using a column oven temperature setting. The results are expressed as grams of each fatty acid per 100 g of fat from the castor variety INIAP 402, the oil content is 52.2%, acid value 2.76 mg KOH*g-1, Kinematic Viscosity 203, 2 mm²*s-1, Relative Density 957.6Kg*m-3, Peroxide Index 0.5≤Meq of peroxide*Kg-1 sample, Iodine Index 87.98g IODO*100g-1, Moisture 646.5 ppm, Index Saponification 171.83 mmg KOH*g-1, the determination of fatty acids from Ricinus communis L. variety INIAP 402 were; Palmitic 1.52%, Stearic 1.57%, Elaidic 31.29%, Oleic 3.7%, Linoleic 3.05%, Ricinoleic 84.1%, Palmitoleic 0.11%, Heptadecanoic 0.17%, Linolelaid 0.67%, Arachidic 0.62%, linoleic 1.9%, Heneicosanoic 1.36%, Eicosadienoic 0.74%, Eruci 0.25%, Tricosanoic 0.24% and for biodiesel there are no significant differences in the percentages .Keywords: Ricinus communis L, oils, fatty acids, moisture.

Keywords: Fiber, percentage, processing, waste..

Introducción

La higuera (*Ricinus communis* L.) es un cultivo tradicional en el Ecuador, especialmente en la provincia de Manabí, donde se produce más del 80% de total nacional con rendimientos inferiores a 900 kg/ha. Esta baja productividad se debe al desconocimiento de las técnicas más adecuadas para manejar el cultivo, al uso de variedades no mejoradas, a la siembra tardía o fuera de época y a la utilización de semilla que posee características indeseables para servir como tales. (Cárdenas, 2020), (Dharajiyá et al., 2020).

Actualmente los biocombustibles constituyen una opción altamente competitiva contra el petróleo y sus derivados en el área del transporte, por la variedad de alternativas con las cuales se puede producir biodiésel usando las distintas tecnologías para conseguir biocombustibles las cuales son bien desarrolladas y disponibles en muchos países. La progresiva disminución de las reservas de combustibles fósiles y los problemas medioambientales asociados a su combustión, obligan a la búsqueda de nuevas alternativas energéticas. El biodiésel es un combustible biodegradable derivado de los aceites vegetales o grasas animales, obtenido industrialmente por la reacción de transesterificación o esterificación, (Kwong, et al. 2016), (Saltos-Giler, et al. 2019)

El ácido ricinoleico es el ácido graso más característico y abundante en el aceite de ricino (*Ricinus communis*). Es un ácido graso hidroxilado con una estructura única que lo distingue de otros ácidos grasos. El aceite de ricino se utiliza en diversas aplicaciones industriales, como lubricantes, productos químicos y cosméticos debido a sus propiedades especiales o otros procesos industriales, (Dimian, 2017), (Baque, et al. 2022), (Sánchez-Álvarez et al., 2022), (Xu et al., 2023).

La cromatografía del *Ricinus communis* L., también conocido como ricino o higuera, se refiere a las técnicas analíticas que se utilizan para separar y analizar los componentes químicos presentes en esta planta. El ricino es conocido por contener diversas sustancias químicas, algunas de las cuales tienen propiedades medicinales y otras pueden ser tóxicas, (Wen et al., 2023)

La Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC/MS, por sus siglas en inglés) es una técnica analítica dedicada a la separación, identificación y cuantificación de mezclas de sustancias volátiles y semivolátiles. La separación de dichas sustancias depende de la diferente distribución de las sustancias estudiadas entre las fases móvil y estacionaria que conforman el sistema, (Pandey, 2013), (Han et al., 2022), (Yang et al., 2023)

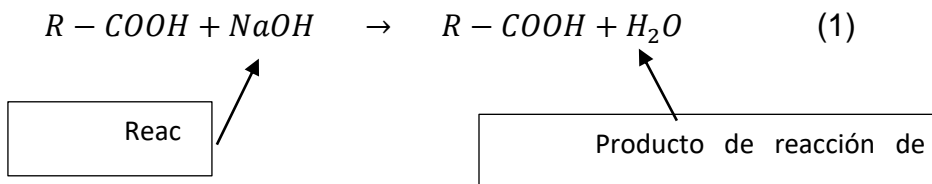
En el caso específico del *Ricinus communis* L., estas técnicas de cromatografía pueden utilizarse para identificar y cuantificar los compuestos químicos presentes en sus diferentes partes, como las semillas, el aceite y otros extractos. Algunos de los compuestos de interés en el ricino incluyen ácido ricinoleico (el principal componente del aceite de ricino), lectinas y toxinas como la ricina, (Prasad & Rao, 2017).

Materiales y Métodos:

La metodología implementada es investigativa práctica en el área química, donde se tomaron un universo de muestra de 60 kg de semillas de la variedad INIAP 402, para el análisis químico en los procesos de extracción de aceite y el proceso de transesterificación, se utilizó 6 kg en la cual se obtuvo aleatoriamente de la muestra universal.

La extracción de aceite de higuera de la variedad INIAP-402 se realizó en la Estación Experimental Portoviejo del INIAP, el Laboratorio de Bromatología y Calidad, pesando 2 kg de semillas en la extractora de aceite a una temperatura 200 °C en la resistencia. Se procedió a filtrar la importancia de la higuera radica en sus derivados, como el aceite que se obtiene de la semilla, único en la naturaleza por ser soluble en compuestos orgánicos, más denso y viscoso en relación con otros tipos de aceites, que lo hacen importante para la producción de biocombustibles, por tal motivo se utilizó papel filtro con la bomba de vacío en la cual se agregó 100 ml de aceite con un 40 gramos de tierra adiatomea este tipo de tierra pues es capaz de atrapar las impurezas que pasan a través de ella. Se procede su aplicación a una temperatura de 60 °C, por una media hora la cual se centrifuga en un tubo falco de 15 ml 5 minutos a 500 rpm donde se obtendrá aceite filtrado.

Previo a la conversión de aceites vegetales en sus correspondientes ésteres para el proceso de transesterificación, se radica en hacer reaccionar un triglicérido con un alcohol para producir tres moléculas de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) más glicerol (Fukada & Kond, 2001). La reacción se indica siguiente figura, como punto importante para poder realizar la transesterificación la acidez debe ser menor de 2,73 y para una esterificación la acidez es mayor de 2,73, (Hincapié et al., 2011).



En la obtención del biodiesel, se tomó en cuenta la cantidad de catalizador, agitación, tiempo y temperatura. Para ello, se mezcló 137 ml de metanol con 5g de hidróxido de sodio como catalizador y se agregó 500 gramos de aceite de higuera con agitación constantemente con una temperatura entre 60 a 65 °C, durante 45 minutos, finalmente, se dejó en reposo mezcla durante 24 horas para lograr la división de las dos fases en donde se obtiene el biodiesel y glicerol, este proceso se lo repitió 5 veces.

En la determinación de la Esterificación Consiste en disminuir cierta cantidad porcentual de ácidos grasos libres del aceite (Kamel, 2018). En este sentido, se siguió la experimentación descrita por García (2021) en factores limitantes en la producción del biodiesel, que consiste en mezclar en un vaso de precipitado 45.8 de metanol junto con 2.5 de ácido sulfúrico por un minuto. Posteriormente, se añadió la mezcla etanol-acido a 100 gramos de aceite higuera en un balón de destilación con calentamiento de 60 °C. Se mantuvo agitación constante a 240 rpm por 60 minutos hasta conseguir una coloración naranja. Finalmente, mediante un embudo de decantación y en un lapso de cinco minutos, se separó la fase ligera perteneciente al aceite esterificado y la fase pesada al metanol en exceso.

El Índice de Acidez se tomó la técnica de valoración o titulación descrita por (García-Muentes et al., 2018) que consistió en utilizar 2 gramos de biodiesel a 10 mL de alcohol etílico en un matraz Erlenmeyer; seguidamente, se añadieron 3 gotas de fenolftaleína. Se agitó constantemente hasta homogenizar la mezcla, y mediante valoración se añadió NA OH 0.078 N gota a gota, hasta obtener un color rosado que permaneció por 30 segundos. Este parámetro está expresado en miligramos de Na oH necesarios para neutralizar 1 g de biodiesel. Para los cálculos respectivos, se siguió la siguiente ecuación:

$$\%Ac = \frac{c \cdot N \cdot mEq}{m} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

c = consumo de Na OH

N = normalidad de Na OH

mEq = mili-equivalente químico del aceite

m = masa del aceite

En la determinación de la humedad se utilizó la estufa donde se pesaron los crisoles en la balanza y se añadió la muestra analizar a una temperatura de 100°C. posteriormente a este proceso, se volvió a pesar con la muestra y se lo llevó a la estufa por 1 horas. Finalmente, se sacó el crisol con la muestra de la estufa y se los colocó en el desecador por 30 minutos. Por último, se repitió el pesado de los crisoles y se tomaron los datos respectivos, la fórmula utilizada para calcular la humedad se determina:

$$\% \text{HUMEDAD} = \frac{B-C}{A} * 100 \quad (3)$$

Donde:

A = muestra húmeda

B = crisol + masa húmeda

C = crisol + masa seca

En la determinación de la densidad, se utilizó el método del picnómetro que consiste en el cálculo de la densidad a través de la diferencia de peso entre la muestra y una sustancia de referencia en este caso agua destilada y dividiéndolo entre su peso como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\rho = \left(\frac{m \text{ muestra} - m p}{m H_2O - m p} \right) * \rho_{H_2O} \quad (3)$$

Donde:

m muestra = Masa del picnómetro con el biodiesel la muestra.

$m p$ = Masa del picnómetro vacío

$m H_2O$ = masa de picnómetro con agua destilada

ρ_{H_2O} = Densidad del agua

En la determinación de la viscosidad dinámica se realizó por medio de un viscosímetro de Ostwald, el cual se obtiene la siguiente ecuación

$$\frac{n_{H_2O}}{n_{fluido}} = \frac{\rho_{H_2O} * t_{H_2O}}{\rho_{fluido} * t_{fluido}} \quad (4)$$

Donde:

μ = viscosidad dinámica

ρ = Densidad

T = tiempo

Obtenida la viscosidad dinámica y la densidad del producto se obtiene la viscosidad cinética por medio de la siguiente ecuación:

$$\varphi = \frac{\mu}{\rho} \quad (5)$$

Donde:

φ = Viscosidad cinemática

μ = Viscosidad dinámica.

ρ = Densidad

En la Determinación del índice de yodo se toma en consideración entre 0.13 y 0.15 g de la muestra problema en un Erlenmeyer de 250mL. Se añade 20ml de cloroformo o éter de petróleo para disolver la grasa. Agragar exactamente 15 mL. Del reactivo de Wijs, tapar el matraz agitar el contenido y colocar el matraz al abrigo de la luz. (No deberá utilizarse la boca para pipetear el reactivo de Wijs).

Se preparo del mismo modo un ensayo en blanco con el disolvente y el reactivo, pero sin la muestra problema. Se mantuvo los matraces en la oscuridad durante 1 hora en la preparación de la solución de yoduro de potasio. Una vez transcurrido el tiempo correspondiente, se agrega a cada uno de los matraces 20 ml de solución de yoduro de potasio y 50 ml de agua destilada con la solución de bosulfato de sodio hasta que haya desaparecido casi totalmente el color amarillo producido por el yodo y llegue al amarillo luego añadir una pizca de almidón y continuar la valoración hasta el momento proceso en que desaparezca el color azul, la fórmula utilizada para calcular el índice de yodo se determina:

$$IY = \frac{(V_1 - V_2) * C * 12,69}{m} \quad (6)$$

Donde:

IY: índice de yodo (g de I₂/100g de grasa)

V₁: Volumen de tiosulfato de sodio consumido por el ensayo en blanco (mL)

V₂: volumen de tiosulfato de sodio consumido por la muestra problema (mL)

C: concentración promedio de la solución de tiosulfato de sodio (mol/

En la determinación del índice de saponificación se utilizó un matraz de 250 ml se pesaron 1 gramos de aceite. Se agregaron 40 ml KaOH y se calentó hasta 60 °C. donde se agitó a 240 rpm por una hora hasta que saponifique. Se Preparó un ensayo en blanco similar en todos los aspectos, pero sin la muestra problema. Una vez saponificada la muestra se agregaron 4 gotas de indicador fenolftaleína. La fórmula del cálculo está dada por:

$$\text{Indice Saponificación} = \frac{(B-M)*N}{P} * Eq Ka OH \quad (7)$$

Donde:

B= Volumen de HCl consumido por el ensayo en blanco.

M= Volumen de HCl consumido por la muestra problema.

N= Normalidad de la solución de HCl.

P= Peso de la muestra.

Eq Ka OH= 56.1

Para la determinación del perfil de ácidos grasos se realizó el método AOAC 996.06 (2005), en el análisis se pesa 0,05 gramos de grasa o aceite en un tubo de ensayo tapa rosca de 10 mL, se adiciona 1 mL de solución de Hidróxido de potasio 0,5M en metanol y se calienta en un baño de agua a ebullición por 10 minutos, posteriormente se enfría y se adiciona 0,4 mL de solución de Ácido Clorhídrico 4:1 v/v en Metanol y se coloca en un baño de agua a ebullición por 25 minutos.

Para el análisis por cromatografía de gases (GC) acoplado a detector de ionización de flama (FID). La separación se realiza en una columna capilar SUPELCO SP TM 2560 de 100 m X 0,25 mm X 0,2 µm, utilizando una programación de temperatura del horno de

columna de 140 °C x 5 minutos, incrementado la temperatura 4°C/minuto hasta 240°C, utilizando helio como gas portador.

La identificación se realiza por comparación de los tiempos de retención de los picos con sus respectivos estándares; para lo cual se utiliza un estándar SIPELCO FAME MIX de C4 a C24, y la cuantificación se realiza por el método de estándar externo comparando el área de la muestra con la de su respectivo estándar. El resultado se expresa como gramos de cada ácido graso por cada 100 gramos de grasa de higuera, con la determinación de la composición química del aceite de *Ricinus communis* L. variedad INIAP 402.

Análisis de Resultados

El estudio investigativo nos arrojó datos en la extracción de aceite en la cual se obtuvo 1 litro de aceite en 3 horas y 30 minutos con una temperatura de 200 °C, donde se pesaron en total 15000 g de semillas donde se tuvo un total de volumen de 6426.90 ml de aceite de higuera.

En la determinación de las propiedades físico químicas del aceite de higuera de la variedad INIAP 402, se observan parámetros dentro de las normas ASTM D-5, ASTM D-445, ASTM D-1980, ASTM D-5554, ASTM D-5558, con contenido de aceite es 52,2%, índice de ácidos 2,76 mg KOH*g⁻¹, Viscosidad Cinemática 203,2 mm²*s⁻¹, Densidad Relativa 957,6Kg*m⁻³, Índice de Peróxidos 0.5≤Meq de peróxido*Kg⁻¹ muestra, Índice de

Iodo 87,98g IODO*100g⁻¹, Humedad 646,5 ppm, Índice de Saponificación 171,83 mmg KOH*g⁻¹

Tabla N 1

Análisis del aceite de higuera de la variedad INIAP 402

Características	Resultado	Unidades
Contenido de aceite (Semilla)	52,2	%
Índice de Acidez	2,76	mg KOH*g ⁻¹ aceite
Humedad	646,5	ppm
Viscosidad Cinemática en 40°C	203,2	mm ² *S ⁻¹
Densidad Relativa a 20°C	957,6	Kg*m ⁻³
Índice de Peróxidos	0.5 ≤	Meq peróxido*Kg ⁻¹
Índice de Yodo	87,98	g IODO/100g
Índice de Saponificación	171,83	Mmg KOH*g ⁻¹

Nota: En la tabla se observan los resultados obtenidos del aceite de higuera.

Fuente: Elaboración propia (2023)

Los resultados de los ésteres de ácidos grasos por medio de la cromatografía donde claramente se observa que el ácido Ricinoleico tanto para el aceite como para el biodiesel se encuentra en 84,1 %. Los demás ácidos grasos se encuentran en los siguientes

porcentajes: Palmítico 1,52%, Esteárico 1,57%, Elaídico 31,29%, Oleico 3,7%, Linoleico 3,05%, Palmitoleico 0,11%, Heptadecanoico 0,17%, Linolelaídico 0,67%, Araquídico 0,62%, linoleico 1,9%, Heneicosanoico 1,36%, Eicosadienoico 0,74%, Eruci 0,25%, Tricosanoico 0,24% y para el biodiesel en el análisis estadístico no hay diferencias significativas entre los valores de los ácidos grasos.

Tabla N 2

Ácidos grasos del aceite y biodiesel del *Ricinus communis* L.

ÁCIDOS GRASOS	Aceite	Biodiesel
	%	%
Ácido Palmítico	1,52	1,47
Ácido. Palmitoleico	0,11	0,09
Ácido Heptadecanoico	0,17	0,14
Ácido Estéarico	1,57	1,53
Ácido Ricinoleico	84,1	84,1
Ácido Oleíco	3,7	3,44
Ácido Linolelaídico	0,67	0,67
Ácido Linoléico	3,05	3,06
Ácido Araquídico	0,62	0,57
Ácido γ -linoleico	1,9	1,85
Ácido Heneicosanoico	1,36	1,53
Ácido cis-11-14-	0,74	0,76
Eicosadienoico		
Ácido Erucico	0,25	0,24
Ácido cis-11,14,17-	ND	0,33
Eicosatrienoico		
Ácido Tricosanoico	0,24	0,22

Nota: En esta tabla se establece los porcentajes de ácidos grasos que contiene el aceite y biodiesel de higuera.

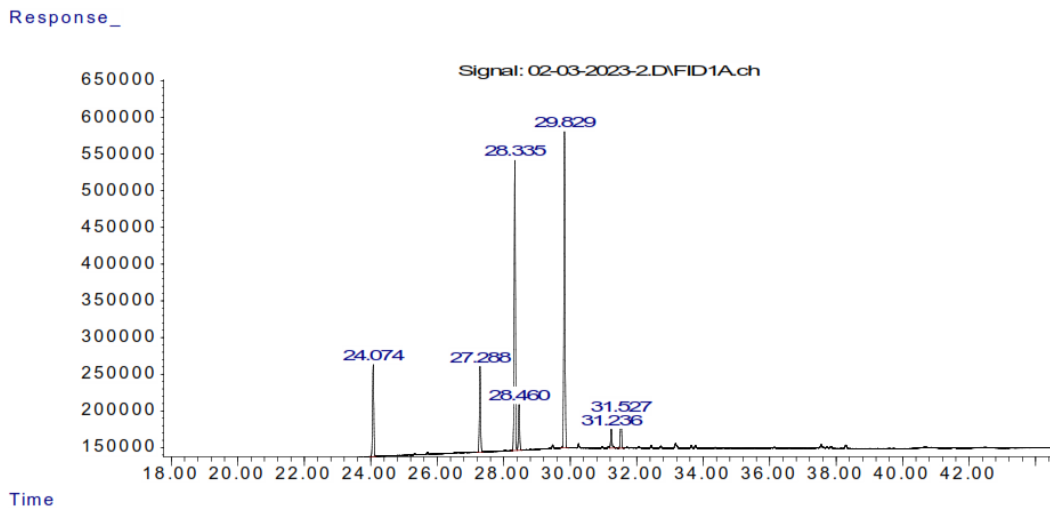
Fuente: (Elaboración propia, 2023)

El análisis cualitativo de muestras del aceite de higuierilla y de biodiesel se analizaron individualmente por cada pico del cromatograma, en la cual se extraen los espectros de masas de cada componente y se comprueba su identidad, buscando en la librería NIST MS el compuesto que más probabilidades tiene de producir ese espectro de masas, como se puede observar en la figura 1 y 2

Figura 1

Cromatografía del aceite de higuierilla (*Ricinus communis L.*)

Cromatograma muestra 23-0227 (Aceite de Higuierilla)



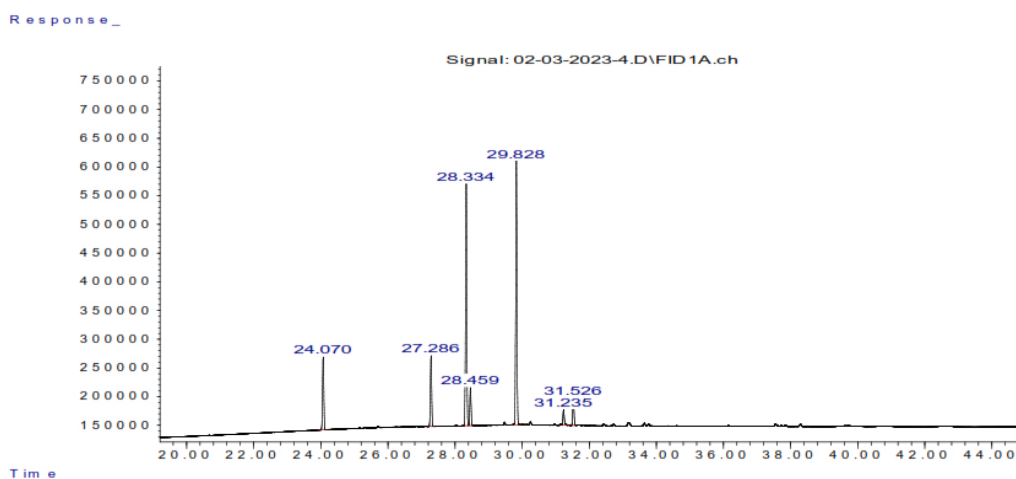
Nota: En esta figura se observa el cromatograma del aceite higuierilla realizado en los laboratorios de INIAP Quito.

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Figura 2

Cromatografía del biodiesel de higuierilla (*Ricinus communis L.*)

Cromatograma muestra 23-0228 (Biodiesel)



Nota: En esta figura se observa el cromatograma del aceite higuera realizado en los laboratorios de INIAP Quito.

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Conclusiones

En nuestra investigación se determinaron de las propiedades físico químicas del aceite de higuera de la variedad INIAP 402, se observan parámetros dentro de las normas ASTM D-5, ASTM D-445, ASTM D-1980, ASTM D-5554, ASTM D-5558, con contenido de aceite es 52,2%, índice de ácidos 2,76 mg KOH*g⁻¹, Viscosidad Cinemática 203,2 mm²*s⁻¹, Densidad Relativa 957,6Kg*m⁻³, Índice de Peróxidos 0.5≤Meq de peróxido*Kg⁻¹ muestra, Índice de Iodo 87,98g IODO*100g⁻¹, Humedad 646,5 ppm, Índice de Saponificación 171,83 mmg KOH*g⁻¹

La espectrometría del aceite de *Ricinus communis* L de la variedad INIAP 402, ha demostrado ser una herramienta esencial en el estudio de sus perfiles de ácidos grasos como evaluación en el proceso químico. Esta técnica proporciona información detallada

sobre la composición química del aceite, incluyendo la presencia de ácido Ricinoleico, que es su componente principal y responsable de muchas de sus propiedades únicas, y demás componentes en porcentajes de la variedad analizada. Además, la espectrometría también permite detectar la presencia de impurezas o contaminantes que podrían afectar la calidad del aceite.

La espectrometría del aceite de ricino es fundamental en diversas aplicaciones, desde la producción de aceite de ricino de alta calidad para fines industriales y farmacéuticos hasta la autenticación y control de calidad de los productos derivados de este aceite. Además, la técnica también se utiliza en la investigación científica para comprender mejor las propiedades y usos medicinales del aceite de ricino.

Referencias bibliográficas

- Baque P., G., Intriago F., A., García M., S., Burgos B., G., & García V., G. (2022). Epoxidación de aceite de higuera (Ricinus communis) de la provincia de Manabí-Ecuador. Revista escuela de ciencias Químicas, 9-30. <https://doi.org/10.26807/ia.v11i1.244>
- Bocchio, J., Víctor Wittemberg, & Quagliano, J. (2017). Synthesis and characterization of polyurethane/bentonite nanoclay based nanocomposites using different diisocyanates: relation between mechanical and thermal properties. IOP Conference Series, 195, 012001–012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/195/1/012001>
- Bhonsle, A. K., Rawat, N., Trivedi, J., Singh, R., Singh, J., & Atray, N. (2023). Biodiesel production using novel solvent from agricultural crop Cannabis sativa L. and Sapium sebiferum L. and their fuel properties characterisation using blends. Bioresource Technology Reports, 23, 101555. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101555>
- Chitue-de-Assunção-Nascimento, J., Lafargue-Pérez, F., Díaz-Velázquez, M., Barrera-Vaillant, N., Marrero-Delange, D., & Varela-Hernández, K. (2013). Análisis cromatográfico del aceite vegetal de Jatropha curcas L. crudo y refinado. Revista Cubana de Química, XXV (2), 143-149. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543735004>
- Dharajiya, DT, Shah, A., Galvadiya, BP, Patel, MP, Srivastava, R., Pagi, NK, y Tiwari, KK (2020). Marcadores microsatélites de todo el genoma en ricino (Ricinus communis L.): identificación, desarrollo, caracterización y transferibilidad en Euphorbiaceae. Cultivos y productos industriales, 151, 112461.
- Dimian, A. C., Iancu, P., Plesu, V., Bonet-Ruiz, A.-E., & Bonet-Ruiz, J. (2017). Innovative design and simulation of a castor oil biorefinery. En A. Espuña, M. Graells, & L. Puigjaner (Eds.), Computer Aided Chemical Engineering (Vol. 40, pp. 1111-1116). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63965-3.50187-2>
- Hasan, M. J., Yeganeh, F., Ciric, A., Chen, P., Vasquez, E. S., & Ureña-Benavides, E. E. (2023). Liquid-liquid equilibria of water + ethanol + castor oil and the effect of

- cellulose nanocrystal/Fe₃O₄ and lignin/Fe₃O₄ nanoparticles. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 180, 107007. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2023.107007>
- Han, L., Chen, M., Li, Y., Wu, S., Zhang, L., Tu, K., Pan, L., Wu, J., & Song, L. (2022). Discrimination of different oil types and adulterated safflower seed oil based on electronic nose combined with gas chromatography-ion mobility spectrometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114, 104804. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104804>
- Hincapié, G., Moreno, a., & López, d. (2011). transesterificación de aceite de higuera cruda utilizando catalizadores heterogéneos -estudio preliminar transesterification of crude castor oil by heterogeneous catalysts -preliminary study. 78, 176–181. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v78n169/a20v78n169.pdf>.
- Jayakumar, M., Bizuneh Gebeyehu, K., Deso Abo, L., Wondimu Tadesse, A., Vivekanandan, B., Prabhu Sundramurthy, V., Bacha, W., Ashokkumar, V., & Baskar, G. (2023). A comprehensive outlook on topical processing methods for biofuel production and its thermal applications: Current advances, sustainability and challenges. *Fuel*, 349, 128690. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128690>
- Kumar, A., Kumar, N., Baredar, P., & Shukla, A. (2015). A review on biomass energy resources, potential, conversion and policy in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 530-539. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.007>
- López-Arenas, T., Aca-Aca, G., Sánchez-Daza, O., & Sales-Cruz, M. (2011). Viscosity Prediction of Compounds Derived from Castor Oil: Parameter Optimization. En E. N. Pistikopoulos, M. C. Georgiadis, & A. C. Kokossis (Eds.), *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 29, pp. 1431-1435). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-54298-4.50065-9>
- Karak, N. (2012). 4—Vegetable oil-based polyesters. En N. Karak (Ed.), *Vegetable Oil-Based Polymers* (pp. 96-125). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857097149.96>
- Naik, S. N., Saxena, D. K., Dole, B. R., & Khare, S. K. (2018). Chapter 21—Potential and Perspective of Castor Biorefinery. En T. Bhaskar, A. Pandey, S. V. Mohan, D.-J. Lee,
-

- & S. K. Khanal (Eds.), *Waste Biorefinery* (pp. 623-656). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63992-9.00021-5>
- Niven, R. K. (2005). Ethanol in gasoline: Environmental impacts and sustainability review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9(6), 535-555. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.06.003>
- Prasad, R. B. N., & Rao, B. V. S. K. (2017). Chapter 8—Chemical Derivatization of Castor Oil and Their Industrial Utilization. En M. U. Ahmad (Ed.), *Fatty Acids* (pp. 279-303). AOCS Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809521-8.00008-8>
- Sharma, A., Pavani Srikavya, B., Urade, A. D., Joshi, A., Shyam Narain, R., Dwarakanath, V., Alam, T., & Shankar Prasad, R. (2023). Economic and environmental impacts of biofuels in Indian context. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.118>.
- Saltos-Giler, Manuel, Jarre-Cedeño, Gilberto, González-Cueto, Omar, López-Bravo, Elvis, & Herrera-Prat, Mario Ignacio. (2019). Modelo matemático para la predicción del consumo de mezclas de biocombustible en un grupo electrógeno. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(1), http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542019000100003&lng=es&tlng=es.
- Sánchez-Álvarez, A., Ruíz-López, N., Moreno-Pérez, A. J., Venegas-Calderón, M., Martínez-Force, E., Garcés, R., & Salas, J. J. (2022). Metabolism and accumulation of hydroxylated fatty acids by castor (*Ricinus comunis*) seed microsomes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 170, 266-274. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.12.010>
- Sharma, A., & Murugan, S. (2015). Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fuelled with non-petroleum fuel: A study on the role of fuel injection timing. *Journal of the Energy Institute*, 88(4), 364-375. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2014.11.006>.
- Xu, Y., Bi, S., Xiong, C., Dai, Y., Zhou, Q., & Liu, Y. (2023). Identification of aroma active compounds in walnut oil by monolithic material adsorption extraction of RSC18 combined with gas chromatography-olfactory-mass spectrometry. *Food Chemistry*, 402, 134303. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134303>
-

- Winangun, K., Setiyawan, A., Sudarmanta, B., Puspitasari, I., & Dewi, E. L. (2023). Investigation on the properties of a biodiesel-hydrogen mixture on the combustion characteristics of a diesel engine. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100445. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100445>
- Wen, W., Xu, P., Xiang, H., Wen, M., Ye, X., Chu, C., & Tong, S. (2023). Comprehensive two-dimensional countercurrent chromatography × gas chromatography characterization of *Artemisia argyi* essential oil. *Analytica Chimica Acta*, 1237, 340614. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2022.340614>
- Yang, M., Yi, J., Wei, C., Peng, X., Yang, Z., Zhao, L., Jiang, X., & Tu, F. (2023). Determination of fumonisins in edible vegetable oil by MIL-101(Cr) based dispersive solid-phase extraction combined with high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 117, 105099. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.105099>
- Zhang, C., Li, K., & Luo, J. (2021). Chapter 20—Superlubricity with nonaqueous liquid. *En A*.
- Erdemir, J. M. Martin, & J. Luo (Eds.), *Superlubricity (Second Edition)* (pp. 379-403). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64313-1.00020-X>
-