

# Aceites potenciales para la generación de biodiésel



## Colaboración

Karla J. Salamanca Izaguirre; Eric Villanueva Vega; Rodrigo Vivar Ocampo; Oscar Diego Armendáriz; María R. Sánchez Díaz, Universidad Autónoma de Baja California

Fecha de recepción: 26 de noviembre del 2021

Fecha de aceptación: 07 de diciembre del 2021

**RESUMEN:** Este trabajo presenta la investigación tipo cuantitativa experimental referente a la determinación de la calidad de aceites potenciales para la generación de biodiésel. Se realizó la caracterización tanto física como química de los aceites obtenidos mediante semillas. Igualmente se recurrió al método de espectrofotometría UV vis para los parámetros de triglicéridos y colesterol, para después proceder a la comparación del potencial de los aceites. Se utilizó cromatografía de capa fina para la separación, identificación y caracterización de los componentes en los productos estudiados, demostrando ser idónea para la determinación de los compuestos de los aceites. Para la cromatografía de capa fina se utilizó una fase móvil, así como una fase estacionaria, siendo la fase móvil  $\text{CHCl}_3$  y  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Mientras tanto, para la fase estacionaria se utilizó  $\text{SiO}_2$  y  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ . La extracción de aceite por prensado en frío es considerada favorable para este proceso ya que hace que se conserven las propiedades biológicas de la semilla en su estado natural y se puedan realizar las pruebas de manera efectiva, puesto a que a temperaturas elevadas los aceites comienzan a perder sus propiedades.

**PALABRAS CLAVE:** Aceites vegetales, biodiésel, cromatografía de capa fina, espectroscopia UV, sustentabilidad.

**ABSTRACT:** This work presents the experimental quantitative research type regarding the determination of the quality of potential oils for the generation of biodiesel. Both physical and chemical characterization of the oils obtained by the three seeds was carried out. Likewise, the UV Vis spectrophotometry method was used for the triglycerides and cholesterol parameters, to then proceed to the comparison of the potential of the oils. Thin layer chromatography was used for the separation, identification and characterization of the components in the studied products, proving to be suitable for the determination of the compounds of the oils. For thin-layer chromatography, a mobile phase was used, as well as a stationary phase, the mobile phase being  $\text{CHCl}_3$  and  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Meanwhile, for the stationary phase,  $\text{SiO}_2$  and  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  were used. The extraction of oil by cold pressing is considered favorable for this process since it preserves the biological properties of the seed in its natural state and the tests effectively, since at elevated temperatures the oils begin to lose their properties.

**KEYWORDS:** Vegetable oils, biodiesel thin layer chromatography, UV spectroscopy, sustainability.

## INTRODUCCIÓN

Bien es sabido el impacto ambiental por el uso de combustibles fósiles. De aquí surge este proyecto de investigación aplicada, por la necesidad existente de buscar alternativas energéticas capaces de sustituir o minimizar el consumo de combustibles fósiles, como consecuencia de la escasez de este tipo de combustibles.

En México podemos definir al biodiésel como "combustible obtenido por la transesterificación de aceites de origen vegetal o animal" basándonos en la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos [1]. La producción de biodiésel está limitada por el origen del aceite empleado, pues la inversión económica en la producción varía en función a la materia prima. Como materia prima se utilizaron cuatro semillas diferentes: de chí

(Salvia hispánica), de girasol (*Helianthus annuus*), de higuera (*Ricinus communis*) y de jobo (*Simmondsia chinensis*). Seleccionadas debido a la abundancia que tenemos en la región de Baja California.

**MARCO TEÓRICO**

**Energías Renovables**

La energía que es obtenida por fuentes renovables, es aquella energía que se genera en procesos cíclicos, con periodos de tiempos cortos, por lo que su cantidad de generar energía no está limitada.

El uso de fuentes renovables ha permitido tener una alternativa para la obtención de "energía limpia", estos recursos ayudan a reducir los impactos ambientales, producir residuos secundarios mínimos, disminuir la dependencia a combustibles fósiles, crear mercados de explotación y una reducción del efecto invernadero y cambio climático [2].

En los últimos años las energías renovables han cobrado gran importancia, debido al daño que se le ha generado al ambiente, es por eso gran cantidad de proyectos se han enfocado en el estudio y generación de energía por medio de fuentes renovables como son: energía solar, energía eólica, energía hidráulica, energía geotérmica, bioenergía y biomasa. En este trabajo nos enfocaremos en la bioenergía y biomasa.

**Bioenergía**

Con este tipo se obtiene energía de la combustión directa o mediante su conversión en combustible gaseoso. Una de las energías no convencionales que ha tenido un mayor impulso, debido al impacto positivo que tiene sobre el medio ambiente, la seguridad y el suministro energético es la biomasa [3].

**Biomasa**

La Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) define a la biomasa como "el conjunto de plantas terrestres y acuáticas, junto con sus derivados, subproductos y residuos producidos en su transformación".

La biomasa entra en la economía circular al integrar los residuos tanto de cultivos como de alimentos en la obtención de energía.

Actualmente el uso de la biomasa como productora de energía ha aumentado el interés de las investigaciones, este ha sido tal que el 56% de las publicaciones en materia de energía renovable se dirige a su investigación [4].

**Biocombustibles**

Los biocombustibles de origen biológico que no se han fosilizado son llamados biocombustibles. En la actualidad el uso de biocombustibles ha aumentado debido a las diversas ventajas que presenta, por ejemplo: no son

contaminantes, son accesibles, seguros y son obtenidos de fuentes renovables. Esta tecnología en desarrollo permite aprovechar la disponibilidad del suelo, las condiciones climáticas y la disponibilidad laboral.

Atendiendo algunos criterios se clasifican por su aspecto y por la generación en que aparecen. En la Tabla 1 se muestra la clasificación por su aspecto:

Tabla 1. Clasificación de biocombustibles según su aspecto físico.

Aspecto físico	Ejemplo de biocombustible
Sólido	Leña y astillas Carbón vegetal
Líquido	Aceite vegetal Bioetanol y bio-alcoholes
Gaseoso	Biogás de origen diverso

Fuente: Elaboración propia.

**Clasificación por generaciones**

Biocombustible de primera generación. Son aquellos procedentes de insumos agrícolas, cultivos alimentarios que tienen un alto contenido de almidón, azúcares y aceites. La tecnología utilizada es la fermentación para el caso de los azúcares y la transesterificación de los aceites y grasas.

Biocombustibles de segunda generación. Son los procedentes de residuos agrícolas y forestales, los compuestos aprovechados son la lignina, celulosa y hemicelulosa. Los procesos llevados a cabo son la sacarificación y el Fischer-Tropsch. Su principal ventaja es que no hay desvío de alimentos (como en los de primera generación) para producir el biocombustible, sin embargo, la disminución de emisión de GEI es casi nula.

Biocombustible de tercera generación. Aquí ya se consideran los cultivos energéticos, aunque todavía se encuentran en desarrollo, y ofrecen la ventaja de obtener combustibles de primera generación sin el uso de alimentos, con la desventaja de requerir campos de cultivo y la subsecuente generación de gases de invernadero.

El uso de biocombustibles de primera generación ha sido considerado de mayor importancia y uso debido al periodo que se requiere para obtener al biocombustible, además de que los costos, aunque dependen de la materia a utilizar, suelen ser más baratos en comparación con los de otras generaciones.

La aportación de los biocombustibles líquidos es su capacidad de renovación, disponibilidad y reducción de GEI. Dentro de los biocombustibles líquidos, el uso e investigación hacia el biodiésel ha cobrado importancia en los últimos años debido a la cantidad de beneficios que ofrecen al ser empleados en el transporte y representan una fuente de ingresos para los países

en desarrollo al aprovechar las ventajas territoriales y climáticas para la agricultura y bajos costos laborales, además de reducir su dependencia de las importaciones de petróleo [5].

## Biodiésel

El biodiésel se define como un metiléster que se obtiene de aceites vegetales, tiene la capacidad de sustituir total o parcialmente al diésel en su uso dentro de los motores a combustión interna, y considerando lo expuesto anteriormente, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> [6].

El concepto de biodiésel que comúnmente se utiliza, es el de un combustible de origen vegetal para los motores de combustión interna. Sin embargo, la composición química es la definición técnica consistente, así como su empleo y características técnicas. [7].

Si comparamos al biodiésel con el diésel tiene un poder calorífico y una viscosidad cinemática menores, 7.795 kcal/l vs 8.74 kcal/l y 3-4.5 cSt vs 3-4.5 cSt respectivamente, presenta las ventajas de una densidad de 878 kg/m<sup>3</sup> a 15°C de temperatura y un punto de inflamación por arriba de 130°C, en comparación a los 60 a 80°C del gasoil, lo que brinda seguridad, como se puede observar en la Tabla 2, al retrasar la auto ignición del combustible durante la inyección, reduciendo el peligro de incendio [8].

Tabla 2. Propiedades del biodiésel y diésel.

Datos fisicoquímicos	Biodiésel	Diésel
Composición combustible	Ester metílico Ácidos grasos (C12-C22)	Hidrocarburo (C10-C21)
Poder calorífico inferior [kcal/kg]	9500	10800
Viscosidad cinemática a los 40°C, cSt	3.5-5.0	3.0-4.5
Peso específico [kg/m <sup>3</sup> ]	875-900	850
Azufre [%]	0	0.20
Punto de ebullición [°C]	190-340	180-335
Punto de inflamación [°C]	120-170	60-80
Punto de escurrimiento [°C]	-15 a 16	-35 a 15
Número de cetano	48-60	46

Fuente Recuperada de Larosa (2003).

De la Tabla 2, se observa que las propiedades del biodiésel promueven una adecuada combustión, debido al mayor contenido de cetano respecto al diésel lo que retrasa la auto ignición y el punto de inflamación. Asimismo, durante el uso del mismo se observa la eliminación de emisiones de CO<sub>2</sub>, la reducción de hollín en un 40 a 60% y la emisión de hidrocarburos entre un 10 y 15% [9].

## Materias primas

El biodiésel se obtiene de los aceites vegetales y grasas animales, y se componen principalmente de triglicéridos de cadena larga, que pueden ser simples o mixtos dependiendo de los grupos y subgrupos sustituyentes unidos a la glicerina. Entre las materias primas se encuentran:

**Aceites comestibles.** Su composición de ácidos grasos permite obtener un combustible de alta calidad

representando el 95% de los aceites empleados para la producción de biodiésel. Los aceites más utilizados son: cacahuate, canola, coco, girasol, maíz, palma.

**Aceites no comestibles.** Estos cultivos de origen silvestre contienen compuestos tóxicos y ofrecen altos rendimientos de aceite. Como son: algodón, neem, pongamiapinnata y ricino.

**Aceites residuales.** Considerados productos de desecho de la industria de alimentos fritos y hogares. En algunos países se utiliza como materia prima para la producción de biodiésel.

Con el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos para la obtención de aceites y grasas utilizados en la producción de biodiésel, se reduce el problema en la industria para su almacenamiento y la generación de olores desagradables. Algunos ejemplos son las grasas animales, como el cebo, la caña de azúcar, madera, etc. [10].

Como materia prima tenemos de tipo aceite comestible y aceite no comestible, se utilizaron cuatro semillas diferentes: semilla de Salvia hispánica conocida como chía (aceite comestible), semilla de Helianthus annuus conocida comúnmente como girasol (aceite comestible), semilla de Ricinus communis conocida como higuera (aceite no comestible) y semilla de Simmondsia chinensis conocida como jojoba (aceite comestible). Seleccionadas debido a la abundancia que tenemos en la región de Baja California. Las jerarquías taxonómicas de cada semilla se describen a continuación.

## Salvia hispánica

La chía, Salvia hispánica, es una especie que pertenece a la familia de aromáticas como la menta, el tomillo, el romero y el orégano. En la Tabla 3 se muestra la información sobre la jerarquía taxonómica de la chía.

Tabla 3. Taxonomía Salvia hispánica.

Jerarquía	Descripción
Reino	Planae-Planta
Subreino	Tracheobionta-Planta vascular
División	Magnoliophyta-Angiosperma
Clase	Magnoliopsida-Dicotiledónea
Subclase	Asteridae
Orden	Asteridae
Familia	Lamiaceae-Menta
Género	Salvia L-Salvia
Especie	Salvia hispánica L

Fuente Recuperada de Plantas útiles de la flora Mexicana.

La salvia hispánica tiene una altura entre un 1.0 y 1.5 metros, sus tallos son ramificados, de sección cuadrangular con pubescencias cortas y blancas. Las hojas opuestas con bordes aserrados miden de 80 a 100 cm de longitud, y 40 a 60 mm de ancho. Sus flores de color azul intenso o blancas se producen en espigas terminales, como se muestra en la Figura 1 [11].



Figura 1. Planta de Salvia Hispánica.  
Fuente Recuperado de NaturaLista.

Las semillas son ovales, suaves, brillantes y miden entre 1.5 y 2.0 mm de longitud. Según la variedad, su color puede ser blanco o negro grisáceo con manchas irregulares que tienden a un color rojo oscuro, como se muestra en la Figura 2 [12].



Figura 2. Semilla de Salvia Hispánica.  
Fuente Recuperado de Quiero Natural.

**Helianthus annuus**

El género Helianthus pertenece a la familia Asteraceae y tiene entre 10 y 200 especies. Pero solo se reconocen 67, de las cuales 11 son especies anuales. El género se agrupa en cuatro secciones:

- 1) Ciliares.
- 2) Atrorubens.
- 3) Agrestes.
- 4) Helianthus.

El girasol silvestre tiene una amplia distribución en el norte del continente. En la Tabla 4 se muestra la información sobre la jerarquía taxonómica del girasol [13].

Tabla 4. Taxonomía de Helianthus annuus.

Jerarquía	Descripción
Reino	Vegeta
División	Angiosperma
Clase	Dicotiledónea
Orden	Esterales
Familia	Asteraceae
Género	Helianthus
Especie	H. annuus L

Fuente Recuperada de CIDCA.

El fruto del girasol se conoce como aquenio, se compone de pericarpio y semilla. El pericarpio es lo que comúnmente conocemos como cáscara y protege a la semilla conocida como almendra, esta última se puede encontrar de color blanco, blanco con negro, negro, pardo o rojizo. Las semillas con interés de la industria del aceite es la variedad negra y tiene un 25% de cáscara aproximadamente. En la Figura 3, se muestra la planta de girasol.



Figura 3. Planta de Helianthus annuus  
Fuente Recuperado de Etsy.

La semilla mide entre 4 y 6mm de ancho por 8 a 12 mm de largo, contiene alrededor de 40 a 55% de aceite, dependiendo de la variedad. Aunque el tamaño varía dependiendo de la posición dentro del capítulo, las grandes en la periferia y las pequeñas al centro. Las semillas pueden mostrar una apariencia plana o bolla da y el carácter genético de la planta y su relación con las condiciones climáticas pueden determinar que algunas variedades no presenten formación de semillas y al llegar a la madurez, estas se presenten en forma de paja o basura [14].



Figura 5. Planta Ricinus communis.  
Fuente Recuperado de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.



Figura 5. Planta Ricinus communis.  
Fuente Recuperado de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

## Ricinus communis

Es una especie altamente invasora en algunos países de Asia y Europa y en Estados Unidos, Costa Rica, Cuba, Jamaica, Puerto Rico, Argentina, Chile, Ecuador, Uruguay, Paraguay, México [15]. Es capaz de crecer rápidamente en climas templados y se ha escapado de los cultivos para convertirse en una maleza nociva. En la Tabla 5 se muestra la información sobre la jerarquía taxonómica del ricino [16].

Tabla 5. Ricinus communis

Jerarquía	Descripción
Reino	Vegeta
División	Angiosperma
Clase	Dicotiledónea
Orden	Esterales
Familia	Asteraceace
Género	Helianthus
Especie	H. annuus L

Fuente Recuperada de Edible Medicinal And Non Medicinal Plants.

Puede medir hasta 6 metros de altura, presenta color verde claro a un azul grisáceo y en ocasiones rojizo, la Figura 5 muestra la planta. En el tallo las hojas se alternan, son pecioladas y palmeadas con 5 a 11 lóbulos, dentadas, conservación palmatinervia. El perianto de las flores masculinas tiene de 6 a 12 mm de largo y las femeninas de 4 a 8 mm de largo. La raíz es pivotante y profunda.

El fruto es una cápsula subglobosa, con espinas cortas y gruesas y las semillas elipsoides, lisas, brillantes, de color café y gris; en la Figura 6, se muestra la semilla del ricino. [17].



Figura 6. Semilla de Ricinus communis  
Fuente Recuperado de WSM.

**Simmondsia chinensis**

La jojoba es un arbusto dioico, perenne, endémico del desierto sonorense, región que abarca el noroeste de México y el suroeste de Estados Unidos. Link y Schneider clasificaron esta planta con el nombre científico de *Simmondsia chinensis*. En la Tabla 6 se muestra la información sobre la jerarquía taxonómica de la jojoba.

Tabla 6. *Simmondsia chinensis*

Jerarquía	Descripción
Reino	Vegetal
División	Embriophyta
Clase	Angiospermae
Subclase	Dicotiledoneae
Orden	Buxaceales
Familia	Simmondsia
Especie	Chinensis

Fuente Recuperada de Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria.

La jojoba permanece verde durante todo el año, como se muestra en la Figura 7, las plantas macho son más altas y no sufren la poda natural, mientras que las hembras son buenas productoras de semillas, pero con una conformación muy pobre, se presenta como una planta dicotómica, se citan 4 diferentes formas de planta, las cuales pueden presentarse dentro de una misma población silvestre:

- 1) Planta baja y postrada.
- 2) Arbusto alto y denso (esférico).
- 3) De varias ramas largas decumbentes con una corona abierta e irregular.
- 4) Conformación arbórea, con una corona variable.



Figura 7. Planta de *Simmondsia chinensis*  
Fuente Recuperado de Red de Herbarios del Noroeste de México

El fruto tiene forma de cápsula dehiscente, el color va de verde amarillo a café, e incluso café oscuro.

La vaina mide 1.5 cm de longitud y contiene de una a tres semillas, es delgada, ovalada y termina en triángulo, el fruto se compara a una bellota y alcanza su tamaño en 6 o 7 semanas del fruto queda dentro del cáliz persistente de sépalos alargados.

Se han encontrado menciones de fascículos y fructificaciones de 2 a 6 cápsulas y de hasta 10 frutos reunidos, en la Figura 8, se muestra la semilla de jojoba.



Figura 8 Semilla de *Simmondsia chinensis*  
Fuente Recuperado de NaturVital.

**Ventajas y desventajas del biodiésel**

El biodiésel presenta las siguientes ventajas y desventajas respecto al diésel:

**Ventajas**

Requiere un tratamiento mínimo para utilizarse en motores. Es sostenible si se integra al sector agropecuario, minimizando la dependencia respecto del petróleo. Debido a su capacidad lubricante reduce el desgaste del motor. Sus emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos, dióxido de azufre, hidrocarburos aromáticos poli cíclicos y material particulado. Se puede mezclar con gasoil en cualquier proporción.

Biodegradable, su emisión es menos visible, presenta menor riesgo en el transporte y almacenamiento por tener un mayor punto de ignición, no contiene azufre, el olor que desprende es menos desagradable [19].

**Desventajas**

La materia prima tiene costos elevados, los óxidos de nitrógeno pueden aumentar en su combustión, presenta flujo lento a bajas temperaturas, mayor oxidación, no se recomienda almacenarlo por más de seis meses. Disuelve plásticos y elementos derivados del caucho natural, por lo que es incompatible con estos elementos [20].

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Materia prima

Una muestra de 500 g de cada una de las cuatro semillas fue recolectada (chía, girasol, higuera, jojoba).

### Preparación de la semilla:

Consistió en limpiar las semillas con agua y jabón neutro, en los casos donde la semilla tenía cáscara esta fue retirada manualmente, posterior a esto las semillas se cortaron en trozos pequeños para ser licuado con mayor facilidad. Enseguida se procedió a calentar las semillas a fuego lento hasta que la misma tomara unos tonos dorados.

### Extracción de aceite:

Se obtuvo el aceite de la semilla utilizando el método de Termo batido y/o prensado. Para el proceso de Termo batido se licuaron las semillas agregándole 1L de agua por cada 500 g. Una vez licuada la mezcla se calentó hasta llegar a punto de ebullición, posterior a esto se separa la parte sólida de la líquida por medio de un filtrado de malla de tela. El residuo orgánico sólido se utiliza como composta para lombriz, en este proceso cada residuo fue aprovechado.

Al residuo líquido se le añadió ácido cítrico ( $C_6H_8O_7$ ) para acelerar el proceso de decantación. Ya separado se extrajo la parte lechosa con una jeringa, se calentó a fuego medio hasta que hierva, dando como resultado un aceite con impurezas. El aceite obtenido se filtró hasta obtener un aceite puro (este paso fue repetido hasta obtener el aceite más puro posible).

El proceso de prensado fue utilizado únicamente para las semillas de alto contenido de aceite (35% o mayor), las semillas ya preparadas se colocaron dentro de una malla de tela, para evitar derrame de la materia sólida, son colocadas dentro de una prensa, por medio de un prensado frío.

### Caracterización del aceite:

#### Espectrofotometría

Se utiliza para medir la absorbancia de soluciones, mediante un haz luminoso, con base en la ley de Beer-Lambert. El equipo utilizado para estas pruebas fue el espectrofotómetro visible GENESYS 20 de la marca Thermo Scientific, como se muestra en la Figura 9.

Se utilizaron dos tubos de ensayo que funcionaron como patrones (Pruebas de blanco), uno de colesterol y el otro de triglicéridos. A cada tubo se le agregó 10  $\mu$ l del aceite correspondiente, con ayuda de una pipeta automática (Se preparan unos tubos para triglicéridos y otros para colesterol).

A cada tubo de ensayo se le agrega 1 mL del reactivo de triglicéridos y 1 ml del reactivo de colesterol. Se leyó  $\lambda 505$  nm contra prueba de blanco de triglicéridos

para ajustar a cero de absorbancia el espectrofotómetro. Posterior a esto se colocó cada una de las muestras para triglicéridos y luego de colesterol dentro del espectrofotómetro, el resultado será la absorbancia.



Figura 9. Espectrofotómetro  
Fuente Elaboración propia.

Por medio de la Ley de Beer-Lambert se determina cuanto aceite hay en la solución de 200 mg por cada decilitro.

#### Cromatografía en capa fina

Consiste en la separación de una mezcla entre dos fases inmiscibles: una fase móvil, que sirve de transporte para las sustancias que se separan y que progresa en relación con otra fase denominada estacionaria. La fase móvil puede ser un líquido o un gas y la estacionaria puede ser un sólido o un líquido.

El procedimiento consistió en colocar la placa de aluminio cubierta de una capa delgada con el absorbente (fase estacionaria). Para detectar los absorbentes que contuvieran indicadores de fluorescencia la placa se colocó dentro de un sistema de foto documentación

UVP ChemiDoc-ItTS2 810 Imaging System a tres distintas longitudes de onda (285 nm, 302 nm y 365 nm).

Posteriormente, se coloca la placa dentro de un recipiente cerrado y limpio con yodo, para provocar que el eluyente (fase móvil) ascienda por capilaridad a través de la placa y arrastre los componentes de forma diferenciada a lo largo de ésta, produciendo “manchas” de los componentes. Con lo que se obtiene el frente de resolución (Rf).

**RESULTADOS**

**Extracción de aceite**

Para determinar el rendimiento de la extracción de los aceites se obtuvo por medio de la ecuación (1).

$$P = \frac{M_2}{M_1} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde P es el porcentaje de rendimiento de la extracción (%), M2 es la masa final del aceite (kg), M1 masa inicial del material vegetal (kg), 100 es un factor matemático. El resultado del rendimiento de cada aceite se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Rendimiento de la extracción de los aceites

Aceite	P (%)
Chía	30
Girasol	26
Higuerilla	40
Jojoba	36

Fuente: Elaboración propia.

**Espectrofotometría**

Para obtener la relación de cantidad de aceite que hay en la solución de 200 mg por cada decilitro se utilizó la ley de Beer-Lambert, ecuación (2).

$$\frac{ABS_M}{ABS_p} * 200 \frac{mg}{dl} \quad \text{Ec. (2)}$$

Se realizó una comparación entre los aceites extraídos y aceites comerciales de la misma semilla, con la finalidad de tener un punto de referencia y mejores discusiones. Tipos lineales hace referencia a la cantidad de triglicéridos presentes en el aceite, y tipo esteroides hace referencia al colesterol que este tienen. En la Tabla 8 se observan los resultados de los aceites extraídos; donde prueba de blanco (Pb), aceite de chía extraído (CA), aceite de girasol extraído (GA), aceite de higuerilla extraído (HA), aceite de jojoba extraído (JA).

En la Tabla 9 se muestran los resultados de los aceites comerciales nivel cosmético; donde prueba de blanco (Pb), aceite de chía comercial (CC), aceite de girasol comercial (GC), aceite de higuerilla comercial (HC), aceite de jojoba comercial (JC).

Tabla 8. Resultados de aceites extraídos.

λ505 nm	Tipo Lineales		Tipo Esteroides	
	ABS	[mg/dL]	ABS	[mg/dL]
Pb	0.371	-	0.154	-
CA	0.220	118.59	0.363	471.42
GA	0.465	250.67	0.390	506.49
HA	0.218	283.11	0.033	30
JA	0.223	289.6	0.003	0.2727

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Resultados de aceites extraídos.

λ505 nm	Tipo Lineales		Tipo Esteroides	
	ABS	[mg/dL]	ABS	[mg/dL]
Pb	0.371	-	0.154	-
CC	0.056	30.18	0.207	268.83
GC	0.051	27.49	0.181	235.06
HC	0.253	136.4	0.213	476.6
JC	0.500	269.5	0.097	276.6

Fuente: Elaboración propia.

**Cromatografía en capa fina**

Los resultados de provocar que el eluyente (fase móvil) ascendiera por capilaridad por la placa y arrastrará los componentes produciendo “manchas” de los componentes en la placa de aluminio se muestran en la Figura 10.

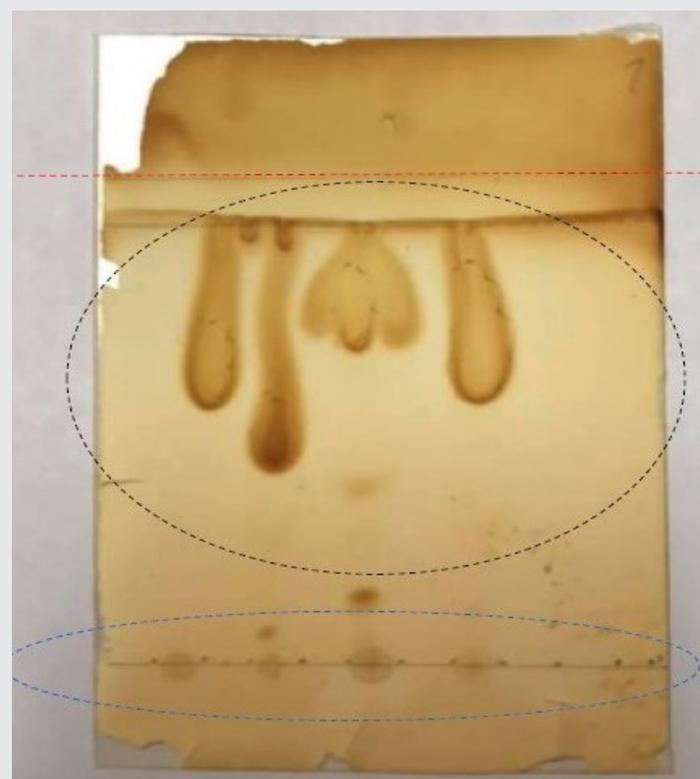


Figura 10. Muestras de los aceites extraídos, utilizadas para la cromatografía en capa fina.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10, la línea punteada de color rojo representa el frente del eluyente, la zona punteada de color negro se observa el comportamiento de las muestras, la zona punteada de color azul representa la zona en donde fue aplicada la muestra inicialmente.

Para obtener la relación de distancias de las condiciones en las cuales se corre la muestra, se obtuvo el frente de resolución ( $R_f$ ), como se muestra en la ecuación (3).

$$R_f = \frac{(a)}{(b)} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde (a) es distancia que recorre la muestra desde el punto de aplicación, y la (b) distancia que recorre el disolvente hasta el frente del eluyente. Los resultados del Frente de Resolución de los aceites se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Frente de Resolución

Muestra de aceite	$R_f$
Chía	0.80
Girasol	0.75
Higuerilla	0.55
Jojoba	0.75

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11 se observan las muestras de los aceites extraídos, utilizadas para la cromatografía en capa fina.

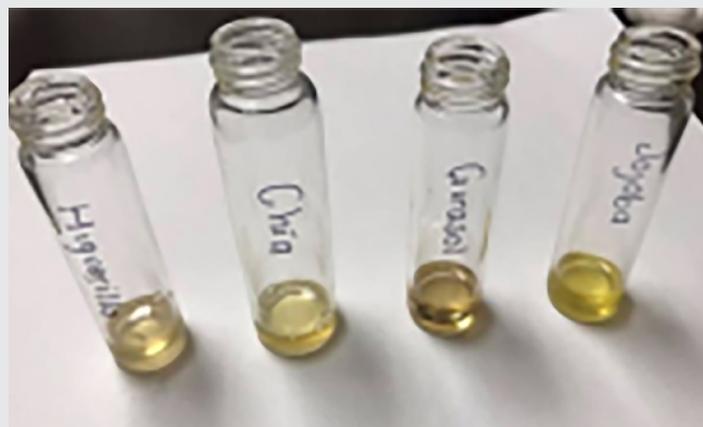


Figura 11. Muestras de aceites extraídos

Fuente Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Es una realidad que uno de los problemas más latentes de la última década, destaca el alto índice de contaminación que se presenta en el planeta, este representa un problema de carácter global y no realiza excepciones con ningún país, es por eso que generación de energías limpias y renovables tiene tanto peso.

El biodiésel, dadas las ventajas técnicas y ambientales que ofrece, constituye la mejor alternativa para sustituir parcial o totalmente al combustible diésel de-

rivado del petróleo. He aquí el motivo de este estudio, analizando el potencial para generar biodiésel a partir de aceites vegetales, comestibles y no comestibles.

Basándonos en los resultados referentes al proceso de extracción del aceite, concluimos que se obtuvo una optimización del método, dado que logramos tener una generación de residuos de tipo contaminante al mínimo y le dimos seguimiento al subproducto generado, teniendo como resultado cero residuos en el método de la extracción.

La relación de extracción de aceite por masa de semilla es de más de 100 ml por cada 500 g dando como resultado rendimientos en la extracción de aceites dentro de los rangos de 25-40%; siendo la semilla de higuerilla la de mayor y la de girasol de menor rendimiento. Analizando los resultados de la Tabla 8 y 9, se concluye que los aceites obtenidos resultaron ser más limpios, con mejor calidad en tipo lineal en comparación a los de tipo comercial. Siendo esto último favorable, debido a que la teoría nos dice que la producción de biodiésel de origen vegetal, idealmente, la materia prima debe contar con alto contenido de triglicéridos.

Los resultados reflejados en la placa de aluminio sometida a yodo nos permiten suponer que, de las cuatro semillas, el aceite de girasol contiene un compuesto que nos indica fluorescencia. Cada "mancha" reflejada en la placa nos indica la presencia de un compuesto, y a simple vista de las cuatro muestras el aceite de chía es el que más compuestos parece tener; esto se puede comprobar realizando una prueba en un cromatógrafo de gas. Se sabe con seguridad es que todo compuesto que contenga carbono absorberá el yodo, y toda sustancia susceptible de ser oxidada es capaz de entregar energía.

Es decir, los aceites extraídos de las cuatro semillas pueden ser utilizados como insumo principal para la producción del biodiésel.

Una vez analizando todos los resultados, cabe destacar que todos los aceites extraídos cumplen con las características para la producción de biodiésel. Las mejoras realizadas en el proceso de extracción de aceite demostraron un método eficaz, eficiente y con bajos costos de producción, obteniendo aceites más limpios y con las características óptimas para llevar a cabo la transesterificación.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Federación, D. O. (01 de Febrero de 2008). Secretaría de Gobernación. Obtenido de Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

[2] N.L. Panwar a, S. K. (2011). Renewable y Sustainable Energía. Revista.

- [3] SENER, S. d. (2006). *Energías Renovables para el desarrollo sustentable*. México.
- [4] Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Biomasa. Manuales de Energías Renovables 5. Edición Especial Cinco Días*. 1996.
- [5] Salinas Callejas, E., & Gasca Quezada, V. (2009). *Los biocombustibles*. *El Cotidiano*, (157), 75-82.
- [6] Encinar, J. M.; Sánchez, N.; Martínez, G. y García, L. (2011). *Study of biodiesel production from animal fats with high free fatty acid content*. *Biore-source Technology*, 102, 10907-10914.
- [7] Andersen, O. y Weinbach, J.E. (2010). *Residual animal fat and fish for biodiesel production. Potentials in Norway*. *Biomass and Bioenergy*, 34 (8), 1183-1188.
- [8] Larosa, R. (2003). *Proceso para la producción de Biodiesel*.
- [9] Basha, S. A.; Gopal, K. R. y Jebaraj, S. (2009). *A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1628-1634.
- [10] Balat, M. y Balat, H. (2010). *Progress in biodiesel processing*. *Applied Energy*, 87(6), 1815-35.
- [11] Martínez M (1959). *Plantas Útiles de la Flora Mexicana*. Ediciones de Botas, DF (México) pp. 198-202.
- [12] Ramamoorthy T P (1985). *Salvia L. En Flora Fanerógama del Valle de México. Volumen II (Dicotiledóneas)*. Eds. J Rzedowski, GC De Rzedowski, Instituto Politécnico Nacional de México, DF (México) pp. 298-310.
- [13] Cabezas D M (2010). *Modificaciones tecnológicas de lecitinas de girasol. Aplicaciones en el área alimentaria*. Tesis Doctoral. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA). Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (FCE-UNLP).
- [14] O'Brien R (1998). *Fats and Oils. Formulating and Processing for Applications*. Technomic Publishing Co, Inc., Pennsylvania (USA).
- [15] CABI. 2016. *Ricinus communis*. In: *Invasive Species Compendium*. Wallingford, UK: CAB International.
- [16] Lim, T.K. 2012. *Ricinus communis*. In: *Edible Medicinal and Non Medicinal Plants*. Lim. T.K. (Ed.). Aust Capital Terr, Australia. Springer Netherlands. 978-94-007-1764-0. 484-502 pp.
- [17] Vibrans, H. 2009. *Ricinus communis. Malezas de México*.
- [18] GISD (Global Invasive Species Database). *Euphorbiaceae*. 2016.
- [19] Lenoir, C. (2002). *Análisis de la producción de Biodiesel*.
- [20] Shahid, E. M. y Jamal. J. (2011). *Production of biodiesel: a technical review*. *Renew Sustain. Energy Rev*, 15(9), 4732-45.