EDITORIAL NAVEGANTE

ACEITE DE HIGUERILLA

(*Ricinus communis L.* Variedad Roja)

ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELABORACIÓN DEL BIODIESEL

León Fernando Pérez Chauca
Juan Luis Quispe Cisneros
Alfredo Torres Garay

León Fernando Pérez Chauca
Correo: leon.perez@unsch.edu.pe
Perfil: Ingeniero Químico.
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9974-1973
Afiliación: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Juan Luis Quispe Cisneros
Correo: juan.quispe@unsch.edu.pe
Perfil: Ingeniero Químico.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4682-4289
Afiliación: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Alfredo Torres Garay
Correo: alfredo.torres@unsch.edu.pe
Perfil: Ingeniero Químico.
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1899-574X
Afiliación: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

ACEITE DE HIGUERILLA

(*Ricinus communis L.* Variedad Roja):

ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELABORACIÓN DEL BIODIESEL

León Fernando Pérez Chauca

Juan Luis Quispe Cisneros

Alfredo Torres Garay

EDITORIAL
NAVEGANTE

Todas nuestras publicaciones son sometidas a revisión doble-ciego
de pares académicos (*Peer Review Double Blinded*).

Esta publicación cuenta con licencia Creative Commons Reconocimiento - NoComercial - SinObraDerivada 3.0 Unported License.

ISBN: 978-628-7736-37-5

© León Fernando Pérez Chauca
© Juan Luis Quispe Cisneros
© Alfredo Torres Garay

2024
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.14846577
© Editorial Navegante
www.editorialnavegante.com

Queda prohibida la reproducción bajo cualquier modalidad de toda o una parte de esta obra sin autorización expresa del titular de los derechos.

Diseño de carátula y composición: Editorial Navegante
Edición electrónica: Editorial Navegante

Editado en Colombia/ *Published in Colombia*

ACEITE DE HIGUERILLA

(*Ricinus communis L.* Variedad Roja):

ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELABORACIÓN DEL BIODIESEL

León Fernando Pérez Chauca

Juan Luis Quispe Cisneros

Alfredo Torres Garay

EDITORIAL
NAVEGANTE

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS 11
ÍNDICE DE FIGURAS 12
INTRODUCCIÓN 13

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LOS COMBUSTIBLES 15

1.1 Combustibles 16
1.2. Origen de los combustibles 17
1.3 Características de los combustibles 17
1.4. Tipos de combustibles 17
1.4.1. Combustibles sólidos 18
1.4.2. Combustibles líquidos 18
1.4.3. Combustibles gaseosos 18
1.5. Biocombustibles 19
1.5.1. Tipos de biocombustibles 19
1.5.2. Importancia de los biocombustibles 20

1.6. Impacto de los combustibles en el medioambiente 22

CAPÍTULO II

EL Biodiesel: UNA DESCRIPCIÓN QUÍMICA 26

2.1. ¿Qué es el biodiesel? 27

2.2. Composición del biodiesel 28

2.3. Obtención del biodiesel 30

2.4. Modalidades de uso 32

2.5. Ventajas y desventajas del biodiesel 33

CAPÍTULO III

HIGUERILLA O ***ricinus communis l.*** Variedad Roja: CUESTIONES GENERALES 36

3.1. La planta higuerilla 37

3.2. Origen 39

3.3. Características y propiedades de la higuerilla 39

3.4. Variedades de la higuerilla 44

3.5. Usos de la higuerilla 45

3.6. Aceite de higuerilla: compuestos, propiedades, aplicaciones y producción 46

CAPÍTULO IV

EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (***ricinus communis l.*** Variedad Roja) PARA ELABORAR BIODIESEL EN LA REGIÓN DE

AYACUCHO-2009 52

4.1. Objetivos 53
4.1.1. Objetivo general 53
4.1.2. Objetivos específicos 53
4.2. Hipótesis 54
4.2.1. Hipótesis general 54
4.2.2. Hipótesis específicas 54
4.3. Sistema de variables 54
4.3.1. Variables en la extracción del aceite de higuerilla 54
4.3.2. Variables en la elaboración de biodiesel 55
4.4. Operacionalización de hipótesis, variables e indicadores 55
4.4.1. Hipótesis general 55
4.4.2. Hipótesis específicas 57
4.5 Metodología, tipo, nivel y diseño de la investigación 60
4.5.1. Metodología de la investigación 60
4.5.2. Tipo de la investigación 60
4.5.3. Nivel de la investigación 60
4.5.4. Diseño de la investigación 60
4.6. Universo, población y muestra 61
4.6.1. Universo 61
4.6.2. Población 61
4.6.3. Muestra 61
4.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 61
4.7.1. Técnica de recolección de datos 61

4.7.2. Instrumentos de recolección de datos 62
4.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos recolectados 62
4.8.1. Selección y representación por variables 62
4.8.2. Procesador sistematizado computarizado 62
4.8.3. Pruebas estadísticas 63
4.9. Análisis e interpretación de resultados 63
4.9.1. Presentación de resultados 63
4.9.2 Caracterización biométrica de la materia prima 63
4.9.3. Análisis químico proximal de las semillas 65
4.9.4. Proceso de extracción de aceite 66
4.9.5. Caracterización del aceite de higuerilla 71
4.9.6. Cromatografía de gases 73
4.9.7. Elaboración de biodiesel 76
4.9.8. Diseño experimental para la elaboración de biodiesel 77
4.9.9. Distribución de los niveles de experimentación 78
4.9.10. Análisis por superficie respuesta del diseño para la elaboración de biodiesel 79
4.10.10. Análisis de efectos estimados e interacciones 86
4.10 Conclusiones 96
4.11. Recomendaciones 97
Reflexiones Finales 132
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1
Características personales predisponentes 22

Tabla 2
Factores laborales desencadenantes 24

Tabla 3
Dificultades para el trabajo en equipo 25

Tabla 4
Consecuencias del estrés laboral asociadas al Síndrome del Burnout 27

Tabla 5
Tasa de prevalencia del Síndrome del Agotamiento Personal en distintas profesiones 29

Tabla 6
Evaluación del desempeño laboral 37

Tabla 7
Método de comparación o jerarquización 40

Tabla 8
Modelo del método de escalas gráficas 41

Tabla 9
Método de comportamientos cualitativos 43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1
Evaluación de 360 grados 44

Figura 2
Modelo de estrés 52

Figura 3
Esquematización de la motivación en el campo laboral 57

Figura 4
Ciclo motivacional 58

INTRODUCCIÓN

En las sociedades altamente industrializadas, los combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón, traspasaron todas las barreras fuertemente concebibles y se establecieron firmemente en nuestras vidas cotidianas. Y ello, es perceptible diariamente pues no solo utilizamos los combustibles fósiles para nuestros quehaceres habituales, como el abastecer un automóvil, o en la industria de generación de energía, sino que, también están presentes en productos como todo tipo de plásticos, detergentes, solventes, asfalto, aceites lubricantes y una amplia gama de productos químicos para uso industrial.

Así, la energía es considerada como uno de los insumos esenciales para el desarrollo social y el crecimiento económico. Convenientemente, en una sociedad como en la que nos desarrollamos, los impactos socioeconómicos de un sector local son muy importantes, puesto que deviene de proporcionar energía mediante recursos o fuentes renovables en lugar de tecnologías convencionales. Para ello, es que se han realizado diversas investigaciones, básicamente, sobre los biocombustibles principales: etanol y biodiesel, ya que se optan por estos recursos como una alternativa frente al consumo de gasolina convencional y el combustible diésel a partir de los combustibles fósiles (Parra, 2016).

En la actualidad, los biocombustibles, empleados desde un inicio por la industria automotriz, han adquirido gran importancia a nivel mundial a causa del aumento de la demanda de productos que resultan sustentables y amigables para el medioambiente y para quienes se desarrollan en él. Tales biocombustibles se están posicionando como una opción baja en

carbono con relación a los combustibles fósiles, debido a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero - GEI (Cabello et al., 2017) y el impacto del medio de transporte conectados al cambio climático.

Esta transformación, interés o preocupación por la contaminación ambiental, está en referencia con la necesidad y la obligación de alternar las fuentes de energía, lo cual llevó a muchos gobiernos a incentivar sus modalidades de uso, cuyo propósito era, no solo el de sustituir, sino también, el de competir con el combustible convencional (Keera et al., 2018). En este sentido, se considera fundamental esclarecer el impacto real de los recursos más amables, prácticos y rentables que contribuyan de inmediato con los efectos del cambio climático.

En ese aspecto, la presente investigación se orienta a este nuevo sustituto de combustibles, como una alternativa renovable frente al uso del biodiesel, pues exterioriza un mayor interés de estudio a medida que se incrementa el deseo de emplear un reemplazo óptimo de combustible ecológico tras el aumento de las fluctuaciones en los precios de los combustibles crudos y las consecuencias ambientales de los combustibles fósiles.

En consecuencia, expresaremos alternativas viables de que existen diversas maneras de producir biodiesel, la más frecuente es a base de las materias primas tales como girasol, linaza, semillas de uva, semillas de amapola, semillas de higuerilla, entre otras. Estas materias primas, gracias a su alto contenido de aceite vegetal, son las más recurrentes en la producción de biodiesel, por lo tanto, los estudios sobre las mismas tienden a desarrollarse con el propósito de contribuir con el medioambiente y con los usos o aplicaciones posibles que la sociedad pueda destacar de él.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LOS COMBUSTIBLES

Con la llegada de la época moderna y de la posterior Revolución Industrial se dio paso a una era totalmente distinta. La vida tal y como era concebida quedaba en el recuerdo debido al incesante movimiento del aparato productivo que hizo que ella mute, gracias a la inclusión de la luz eléctrica y directo hacia un planeta que no duerme.

En el mundo actual, la energía es parte consustancial de la vida contemporánea, pues de ella depende la continuidad de un exigente orbe globalizado que pugna por venderlo todo. Por ello, en la época existente, la demanda por los combustibles fósiles no solo ocasiona la saciedad de los distintos campos de la actividad humana como son el transporte, la electricidad y la calefacción, sino que ocasiona una interminable depredación de los recursos y atenta contra el control ecológico de la biodiversidad, aunque siempre se han usado diversos tipos de energía para producir los recursos que satisfarán las necesidades básicas de la vida. (Badii et al., 2016).

El uso de la energía se ha ido modificando conforme a las circunstancias en que el ser humano iba cambiando. Así, mientras la capacidad de sobrevivir le era suficiente, no necesitaban recurrir más que a utilizar combustibles 'naturales'. Sin embargo, a medida que la Revolución Industrial hizo su entrada, las maneras de obtener energía eran más demandantes debido al carácter galopante del aparato productivo. Incluso así, esto se veía con 'buenos' ojos puesto que prometían defender y mejorar la calidad de vida de la gente (Dammert y García, 2017).

En este aspecto, queda replantear la manera cómo el hombre produce y conduce su vida. Además, el hecho mismo de producir implica un coste energético, y este coste no solo significa el sacrificio de las fuerzas productivas humanas, sino también el gasto del combustible necesario para hacer andar el gran andamiaje de bienes y servicios dados para establecer las mejores condiciones de vida.

De esta forma, se ve cómo el ser humano, producto de las condiciones de vida existentes y en aras de establecer cada vez más esa situación, termina por 'cegarse' y depredar su mismo hábitat, comprometiendo con ello no solo a su especie, sino que también a los otros seres del planeta Tierra.

En lo que sigue, la humanidad trata de establecer mejores escenarios productivos que, aparte de promover el uso responsable de la energía, permitan también la conservación del hábitat natural de los distintos individuos que cohabitan este ecosistema.

1.1 Combustibles

La palabra combustible deriva de las raíces *com* (completo) y *burere* (quemar). De esta forma, *combustible* significa la manera en que algo se quema, que arde, que *combustiona*. Se emplea el término *combustión* porque hace referencia a aquello que arde o que tiene poder para arder con facilidad.

Esta reacción química descubre el carácter intrínseco de los elementos, es decir, si un elemento es capaz de reaccionar y liberar energía cuando se relaciona con el oxígeno, esto develará que este es un combustible (Barrera et al., 2018).

1.2. Origen de los combustibles

Narrar la historia de los combustibles supone entrar en relación con la historia del planeta, puesto que existe una estrecha correspondencia entre los combustibles y la energía. De este modo, el origen de aquello, que ahora se conoce como combustible, se remonta a una suma acumulativa de energía solar, en primer orden, y a un producto de la interrelación entre la Tierra, los otros planetas y el universo (Goñi y Rojas, 2016).

Si se considera que los combustibles han sido utilizados desde los orígenes de la humanidad, y que por tanto hay una estrecha relación entre la forma productiva, la visión práctica, la tecnología y el aprovechamiento de la energía, habrá que tener presente, también, el modo de cómo se usan actualmente, pues responde de alguna manera a la estructura socialmente compleja de ese contexto.

1.3 Características de los combustibles

Una de las características más destacadas de los combustibles es su capacidad para hacer combustión. En relación con eso, se reitera que el combustible, de forma general y al margen de sus individualidades, tiene la cualidad de crear combustión. Esto denota el enorme potencial calórico que no es sino una muestra de la energía que posee.

1.4. Tipos de combustibles

En cuanto a la clasificación de los combustibles, estos se distinguirán no solo por las características presentadas a nivel de estado de la

materia, sino que las características propias de cada tipo harán que cada una de ellas sean aprovechadas de diversas formas.

Para efectos de la organización usual de los tipos de combustibles, estos se pueden clasificar en tres grandes grupos de acuerdo con su estado material.

1.4.1. Combustibles sólidos

Son aquellos que poseen una estructura definida. El origen de procedencia puede ser tanto natural como artificial, producto de procedimientos de descomposición térmica o al ser remanente de algún otro proceso químico (Barrera et al., 2018). Pertenecen a este grupo, el carbón, la leña, la madera, entre otros.

1.4.2. Combustibles líquidos

Carecen de una estructura definida, pero con un volumen determinado. Este tipo de combustible requiere una zona de almacenamiento en su instalación. (Barrera et al., 2018). Pertenecen a este grupo, la gasolina, el diésel y el combustóleo.

1.4.3. Combustibles gaseosos

De forma y volumen no fijas, tienen la particularidad de presentar poca o mucha presión dependiendo de los componentes del gas. No requiere de una zona de almacenamiento debido a su fácil extracción y transporte. Una de las ventajas que presenta el combustible gaseoso, además de su bajo costo, es que pertenece a uno de los combustibles fósiles menos contaminantes (Barrera et al., 2018).

1.5. Biocombustibles

Es usual que en estos tiempos se comente hasta el cansancio de la renovación de los recursos energéticos utilizados para la producción de los bienes y servicios por uno menos contaminante que los combustibles fósiles. Así, los biocombustibles se asoman tanto para lograr mantener y prolongar el incesante aparato productivo, así como, es la alternativa adecuada para reducir el impacto ecológico.

En ese sentido, se hace indispensable que se defina la naturaleza de los biocombustibles, las razones por las que se promueve su uso, y las dificultades que presenta este nuevo tipo de energía en el escenario actual.

Se denomina biocombustible al producto que se obtiene de la transformación de la naturaleza vegetal u orgánica por medio de un procedimiento físico o químico (Romanelli et al., 2016).

De acuerdo con esta definición, el biocombustible, en comparación con los combustibles fósiles, viene a ser un medio energético más adecuado para la conservación tanto de las fuerzas productivas y su incesante manera de crear valor, como de las condiciones ambientales para la manutención de la vida de los distintos seres del planeta.

Una de las clasificaciones más importantes sobre los biocombustibles que se han descrito hasta el momento, son los del tipo de materia orgánica que procede. De esta manera, se dividen en biocombustibles de primera, de segunda, de tercera y de cuarta generación (Ramos et al., 2016).

1.5.1. Tipos de biocombustibles

Dentro de todas las posibilidades que se tienen, en relación con la producción energética y las posibles combinaciones de estas con otros tipos de energías (como los fósiles), los principales autores tienden a cata-

logarlas en cuatro grandes grupos. Así, para Ramos et al., (2016), los tipos de biocombustibles se pueden clasificar de la siguiente manera:

- De primera generación. Se les conoce de esta manera debido a que se produce a partir de la biomasa, sean estos aceites o azúcares procedentes de plantas como maíz, soja o caña de azúcar. El método usual de usar estas plantas es por medio de la fermentación (Ramos et al., 2016).
- De segunda generación. Se consiguen a partir de las materias primas que no están destinadas a la alimentación como los residuos agrícolas y forestales que provienen de residuos de cultivos o productos de segundo orden de las industrias alimentarias (Ramos et al., 2016).
- De tercera generación. Se deriva de organismos autótrofos como las algas. El proceso consta de la cultivación de estos en reactores fotoquímicos, luego se procede al secado, y finalmente a la extracción del aceite de sus células para producir biocombustible (Ramos et al., 2016).
- De cuarta generación. Se subdivide a partir de organismos genéticamente modificados con el fin de que aprovechen el dióxido de carbono del ambiente y generar así un doble efecto: ser una energía 'natural' y disminuir los gases de efecto invernadero (Ramos et al., 2016).

1.5.2. Importancia de los biocombustibles

Una de las principales razones para que se comience a hablar sobre los biocombustibles se debe a los problemas que ocasiona el uso de recursos fósiles. De esta forma, se sabe que una enorme parte del uso energético, alrededor del 80 %, se fundamenta en el uso de los combustibles fósiles. Por ello, se hace indispensable la transformación del modelo energético y dejar lo basado en restos fósiles, puesto que estos, además de ser bienes escasos, se encaminan a perjudicar al medioambiente por más que uno sobrelleve con cuidado el territorio y la vida de las especies que habitan en él (Ballesteros, 2018).

Las razones antes expuestas, acerca de los problemas que ha creado el uso de los combustibles fósiles, no solo exponen el peligro de sostener esta manera galopante el empleo de estos recursos, sino que suponen un riesgo importante, ya que, al ser escasos, evidencian que la vida de todos los seres vivientes está constantemente afectada por la forma de producirlos.

En relación con eso, los impactos de los combustibles fósiles han motivado la búsqueda de nuevas energías a partir de elementos naturales y de rápida renovación para que sean menos nocivas y más sustentables (Cortés-Sánchez et al., 2019).

Entonces, con el argumento de la extinción de los recursos fósiles y de alta demanda, los países emergentes y no productores, al no pertenecer a la inmensa cadena productiva y ser solo consumidores, han encontrado nuevas opciones energéticas en los combustibles biológicos, los cuales buscan suplir la demanda de aquellas naciones que no pueden competir en iguales condiciones con las grandes potencias por los combustibles de origen fósil (Morelos, 2016).

Uno de los factores más importantes del uso de este 'nuevo' tipo de combustible en su carácter menos contaminante que el ofrecido por los combustibles fósiles. Por este motivo, es usual que se le denomine energía 'verde', puesto que no solo produce un mejor impacto en la naturaleza, sino que ayuda a conservar el hábitat de los distintos seres vivos.

De este modo, lo que propugna la llamada economía verde es la utilización de los recursos biológicos renovables para la producción y satisfacción de los distintos campos. Por ello, los tiempos actuales necesitan transitar de los combustibles fósiles a otra forma de energía más amigable con el medioambiente; en atención a lo cual, se necesita crear condiciones aceptables para que se establezca una transición que permita armonizar la utilización de los recursos biológicos renovables, el cuidado del medioambiente y la biodiversidad (Ballesteros, 2018).

No obstante, lejos de ser la bioenergía un elemento totalmente distinto a la energía fósil comparte ciertos principios de rendimiento con ella. Así, uno de los conceptos asociados al uso de los biocombustibles es el de la eficiencia energética. La razón se debe a dos factores:

- En el primer factor, es de conocimiento pleno que no es posible seguir usando la energía fósil a causa de su escasez y a su alta capacidad contaminante.
- En el segundo factor, al suplir este tipo de combustible por otro que resista menos emisiones de gas de efecto invernadero, este debe rendir en un alto rango para sustituir la alta demanda que exige el mundo de hoy. En virtud de ello, la eficiencia energética propone cubrir los altos pedidos de la población, la economía y el ambiente, con la salvedad que esta lo haga sin causar mayor perjuicio al ya dañado ecosistema (Badii et al., 2016).

1.6. Impacto de los combustibles en el medioambiente

Si bien, es cierto que, gran parte del intenso dinamismo de la economía mundial reside en el aprovechamiento de la energía que proporcionan los combustibles, sobre todo fósiles, el uso sostenido y prolongado de ellos han traído como consecuencia no solo el agotamiento de estos recursos, sino que también constituyen un daño irreversible en el ecosistema, los cuales se relacionan con el alza de los distintos productos considerados básicos.

Conforme a los ejemplos descritos, acerca de que estos recursos energéticos contaminan, se pueden ver, en ámbitos mundialmente cotidianos, a los vehículos. Estos se encargan de emitir tres de los principales contaminantes del aire, como son, el monóxido de carbono, el óxido de nitrógeno, y el hidrocarburo. La acción de estos tipos de sustancias puede provocar severos deterioros en la salud.

En ese mismo orden de ideas, el monóxido de carbono ayuda a reducir la capacidad para transportar oxigeno de la sangre, además de perjudicar la visión y las funciones cerebrales; mientras que, el óxido de nitrógeno coopera con la constitución del ozono y de la lluvia ácida. Asimismo, los hidrocarburos combinados con altas las temperaturas a raíz de la luz solar pueden ocasionar irritación de los ojos, tos, insuficiencia respiratoria, entre otros (Pérez, 2018).

En tales circunstancias, es pertinente subrayar que los problemas ambientales son un escándalo y suscitan una inquietud en la población, gracias al impacto de esta en la vida más directa de ellos, pues no quita que el mayor inconveniente resida en otro aspecto: La economía.

De esta forma, se revela que el mundo se mueve no solo por cuestiones sociales, ecológicas o morales. La vida actual está regida, particularmente, por lo que el mercado impone, y en ese sentido, las reglas del mercado marcarán también el rumbo de la situación ecológica.

Que las reglas del mercado se caractericen por su alto dinamismo implica que el uso de las energías renovables tenga que seguir directrices de acuerdo con la rapidez productiva. En este aspecto, será indispensable que la planificación facilite las condiciones para que el impulso al desarrollo de las energías renovables pueda ir poco a poco reemplazando el uso de combustibles fósiles (Pendón et al., 2017).

El dilema de la transformación ecológica trae consigo una enorme contradicción. El uso de las energías 'verdes' no solo presume una transformación más amigable para los seres vivos, al no usar combustibles altamente nocivos, sino que implican también el desplazamiento de las fuerzas productivas a un régimen que toma por asalto la tierra y el agua para un uso exclusivamente comercial, lo cual desencadena muchas veces en conflictos entre las grandes empresas y la población local (Urteaga, 2017).

En otros términos, la llamada energía verde al ser sostenida por los intereses particulares de las variadas empresas que orientan su producción, no para el uso comunal sino en función al rédito, encuentran la manera de vender una imagen de empresa responsable cuando los resultados que genera es la precarización de las formas de vida de las poblaciones rurales y campesinas.

A continuación, si se analiza el posible impacto a una inmensa escala que desencadenará el paso, aparentemente decidido, de una energía fósil por una bioenergía, deberá repararse las medidas que adopta este nuevo modo de producir energía.

Dentro de los elementos, a primera vista reconocibles, que intervienen en este proceso se pueden señalar a la maquinaria, la tierra y los insumos químicos. Estos, al estar circunscritos bajo las reglas del mercado y su incesante demanda, corresponderán reducir el tiempo de espera de la producción. En virtud de ello, los productos orgánicos se comprometerán acortar el tiempo que usualmente les tomaba hasta la cosecha y, por tanto, convendrá agenciarse de aditamentos químicos que aceleren el mencionado proceso.

Por su parte, el uso incesante de la tierra para la producción puede traer el 'agotamiento' de está haciéndola menos productiva, y, por tanto, la lleve a recurrir al auxilio de insumos químicos para una mejora productiva.

Asimismo, la búsqueda creciente de terrenos de siembra llevará a la deforestación de territorios originando la pérdida del hábitat natural de la flora y fauna, así como al desplazamiento de las familias. Además, otro de los problemas que suscita este tipo de producción está ligada al manejo de las semillas certificadas, las cuales son de único uso. Desde este punto de vista, para cada nueva cosecha deberá comprarse semillas nuevas dando como resultado que esta energía renovable sea no renovable (Parra, 2016).

En consecuencia, la inclusión de las nuevas energías no solo significa la posibilidad de encontrar una manera aparentemente más saludable de producir, sino que esta forma de producir no se halla exenta de las dificultades propias de un sistema que imprime y exige la reducción de costos y tiempo, causando la sobreexplotación de la tierra, la quita de terrenos para producción alimentaria y los conflictos entre las grandes empresas y los pobladores locales.

CAPÍTULO II

EL Biodiesel: UNA DESCRIPCIÓN QUÍMICA

En los últimos años, ante la escasez de combustibles como el petróleo, el calentamiento global por el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI), el cambio climático, la competencia de precios en el mercado de combustibles, y el interés de las naciones por activar el uso de energías renovables y ecofriendly, se observó el boom de los combustibles biodegradables, específicamente, en la producción del biodiesel como estrategia para la sustitución de los combustibles fósiles y la mitigación de los GEI (Cabello et al., 2017).

El biodiesel es una alternativa sostenible y limpia que evita el uso de los combustibles contaminantes para el medioambiente, puesto que es una inversión económica fuerte para los países, quienes, en la actualidad, investigan opciones para la implementación de biocombustibles en sus actividades productivas y extractivas que no dañen su patrimonio natural, tales como la agricultura, la ganadería y la pesca (Llanes et al., 2017). Por tal motivo, la producción y el uso del biodiesel se ha incrementado y se posiciona como uno de los combustibles con mayor demanda.

En este aspecto, en el presente acápite, se busca explicar el origen químico del biodiesel como combustible biodegradable y producto renovable, su composición y las formas de producción para su obtención; pero, principalmente, se pretende exponer los efectos positivos del uso del biodiesel para el ser humano, el desarrollo económico de los países y el cuidado ambiental. De esta forma, se intenta continuar la discusión y las investigaciones acerca del aumento en la elaboración de biodiesel mediante aceites naturales, y su inserción en la economía, actividades productivas y extractivas de las naciones.

2.1. ¿Qué es el biodiesel?

El biodiesel es un metil éster que se produce a partir de aceites vegetales comestibles y no comestibles, grasas de animal y grasas recicladas de uso humano; es decir, recursos naturales renovables, el cual lo convierte en un combustible oxigenado y con una enorme capacidad de producción (Tacias et al., 2016; Llanes et al., 2017). Asimismo, según Montero et al. (2016), el biodiesel se puede dividir en tres generaciones conforme a la fuente de su producción. La primera generación, se obtiene de los aceites comestibles y naturales como los aceites de soya, canola, higuerilla y demás. La segunda generación, se elabora sobre la base de grasas, sebo de los animales, y aceite residual. Finalmente, la tercera generación, surge desde el uso de las microalgas.

En la primera generación, de acuerdo con Ortiz et al. (2016), a nivel mundial, el aceite natural con mayor rendimiento en la producción de biodiesel es el aceite de palma; ello, gracias a su acelerado crecimiento durante el año y a los bajos costos de su materia prima y proceso de elaboración. De modo que, en el mercado internacional de aceites y biodiesel, se manifiesta una gran demanda sobre este producto que generalmente se produce en Indonesia y China.

En el caso de las grasas recicladas de la segunda generación, se debe considerar los factores por los cuales son sometidos estas grasas, es decir, tiem-

po de cocción, temperatura de cocina, tipo de aceite, tiempo de almacenamiento y de uso, entre otros, puesto que esto repercute en su proceso de transformación y en la textura del producto final de biodiesel (Tacias et al., 2016). De acuerdo con Cuty y Mejía (2019), se ha corroborado que el biodiesel producido a partir de aceites reutilizados o de origen animal, debido a su carácter pegajoso, tiene consecuencias negativas en el bombeo y atomización del combustible.

Finalmente, según el estudio de Castillo et al. (2017), en los últimos años, las investigaciones para la producción de biodiesel se han focalizado en el uso de microalgas como fuente primaria, ya que poseen un alto contenido en lípidos y aceites. Además, son recursos naturales de constante crecimiento que no significan una pérdida en el ecosistema si se los extrae de manera moderada, y, especialmente, que no requieren de procedimientos costosos para la obtención del biodiesel. De acuerdo con los autores, la transformación de las algas en biodiesel consiste en tres etapas: cultivo del alga (biomasa); disrupción celular de la biomasa; y, esterificación de la biomasa para la obtención de biodiesel.

2.2. Composición del biodiesel

En su conceptualización más esencial, el biodiesel se define como un combustible de origen natural y renovable que está compuesto por un 90 % de aceite natural y 10 % de alcohol (Zanchett et al., 2016). El biodiesel puede conseguirse de diversos aceites vegetales, tales como la palma, el coco, el girasol, la soya, la higuerilla, entre otros. Además, puede obtenerse de las grasas de animales como cerdos, aves y pescado. Sin embargo, estos tienen una textura más espesa y viscosa que repercuten en el uso del combustible (Llanes et al., 2017).

Según su definición química, el biodiesel está compuesto por los monoalquilésteres en cadena larga de los aceites grasos naturales mencionados que se tratan desde los procesos de pirólisis, micro-emulsificación y transesterificación, y purificación del producto (Andrade-Durán et al., 2016;

Ortiz et al., 2016). En los procedimientos de reacción entre el aceite y el alcohol se deben utilizar catalizadores que promuevan el aceleramiento de la producción del biodiesel. Asimismo, los purificadores pueden eliminar los componentes contaminantes e impuros de la mezcla antes de su entrega final.

De manera específica, la combinación de estos aceites grasos con el alcohol (metanol y etanol) es lo que produce inicialmente el biodiesel, pero su reacción química debe ser catalizada por compuestos tales como ácidos, enzimas o bases; algunos de ellos, son el hidróxido de potasio (KOH), y el ácido sulfúrico (H2SO4) (Ortiz et al., 2016). Según Andrade-Durán et al. (2016), el metanol es el alcohol que más se utiliza en la industria del biodiesel, porque posee un costo más económico de adquisición y tiene mayores propiedades químicas para la producción acelerada del combustible, es decir, tiene un mayor rendimiento.

De acuerdo con Alí y Jamshed (2020) y Gutiérrez et al. (2020), algunas características importantes del biodiesel, como combustible de origen biológico, son las siguientes:

- No contiene azufre ni componentes aromáticos en los gases que emite en su utilización
- Posee una mayor ignición frente a otros combustibles
- Es un producto 100 % biodegradable en tierra y agua
- Tiene un gran poder lubricante para uso automotriz
- Favorece a la combustión completa
- Posee una mayor captación de carbono orgánico
- Es una fuente de origen natural y renovable

2.3. Obtención del biodiesel

El biodiesel tiene diferentes formas de producción, los cuales dependen de la materia prima de aceite que se utiliza para su creación. No obstante, los procedimientos de elaboración más conocidos y utilizados son los siguientes: pirólisis, micro-emulsificación y transesterificación (Llanes et al., 2017).

- Pirólisis. La pirólisis es el procedimiento termoquímico de más costo y con menor productividad en la realización de biodiesel y biocombustibles (Campos et al., 2020). Usualmente, para este proceso solo se utilizan los aceites de segunda generación, debido a su gran capacidad calorífica y su resistencia a la exposición a las grandes temperaturas; de este modo, se obtienen elementos con una mayor capacidad de oxígeno a pesar de ser un procedimiento que no requiere de oxigenación externa para su elaboración (Cortés-Sánchez et al., 2019).
- Micro-emulsificación. El proceso de micro-emulsificación sí se puede realizar en los aceites de la primera generación, porque se basa en la dispersión coloidal de microestructuras fluidas con el alcohol (butanol, hexanol y octanol), los cuales le ofrecen una menor pegajosidad a la mezcla (Cortés-Sánchez et al., 2019).
- Transesterificación. Es un proceso catalizador por el cual se manifiesta la reacción entre la mezcla de aceite natural y alcohol mediante tres reacciones químicas distintas y en donde se convierten los triglicéridos a diglicéridos, los diglicéridos a monoglicéridos, y los monoglicéridos a glicerina o glicerol (Tacias et al., 2016; Llanes et al., 2017):

$$\text{Triglicéridos (TG)} + \text{ROH} \longleftrightarrow \text{Diglicéridos (DG)} + \text{RCOOR\_1}$$

$$\text{Diglicéridos (DG)} + \text{ROH} \longleftrightarrow \text{Monoglicéridos (MG)} + \text{RCOOR\_2}$$

$$\text{Monoglicérido (MG)} + \text{ROH} \longleftrightarrow \text{Glicerina} + \text{RCOOR\_3}$$

Es pertinente mencionar que, en la opinión de la investigación de Cabello et al. (2017), para el proceso de transesterificación es importante la presencia de un catalizador, sea heterogéneo u homogéneo, a pesar de que este último mejora la velocidad de reacción para la obtención del biodiesel y suministre un mejor rendimiento. Usualmente, para el procedimiento de transesterificación, se utilizan bases fuertes como catalizadores para la deprotonación del alcohol y la aspersión del aceite (Reséndiz-Vega et al., 2019). De acuerdo con Mafla et al. (2018), para el NaOH los catalizadores deben poseer una pureza del 96 %, mientras que, para el KOH, su pureza puede ser menos del 92 %.

Asimismo, conforme con la investigación de Cuty y Mejía (2019), se debe considerar que, en la elaboración de biodiesel mediante el proceso de transesterificación de los aceites reutilizados, se busca la separación del aceite con la glicerina. Ello, para lograr la reducción de la viscosidad en el biodiesel. Sin embargo, como comentan los autores, aunque el biodiesel puro es un combustible aceptado mundialmente gracias a su sostenibilidad ambiental, su producción por medio de aceites de frituras no garantiza la reducción de componentes como el óxido de nitrógeno, puesto que posee una composición alterada por la cocción.

Posterior a estos procesos de elaboración, se requiere la purificación del producto para que se convierta en biodiesel, en vista de que posee impurezas que influyen negativamente en su uso final. Algunos de los elementos que se eliminan con el 'lavado' son la glicerina, el agua, los metales, los alcoholes, los catalizadores, el jabón, entre otros más (Andrade-Durán et al., 2016). Además, de acuerdo con los autores anteriores, existen dos tipos de purificación: la purificación seca (se usan compuestos de resina iónica, bentonita o magnesio para la neutralización de los elementos contaminantes); y, la purificación húmeda (se utiliza el agua para la eliminación de las sustancias químicas de la mezcla de biodiesel).

2.4. Modalidades de uso

La mayor parte de la emisión de los gases contaminantes que vemos en la atmósfera se produce por la inmensa circulación de autos a nivel mundial, los mismos que utilizan combustible por medio del diésel y la gasolina, siendo estos los mayores emisores de dióxido de carbono (CO_2). Por otro lado, tal como se indicó en su oportunidad, el biodiesel es un combustible líquido a base de aceites naturales los cuales reducen la proliferación de gases tóxicos al ambiente, principalmente, aquellos gases que se producen en la combustión como el monóxido y dióxido de carbono (Mafla et al., 2018).

Asimismo, en su mayoría, el biodiesel es utilizado por el sector automotriz, de transporte y de energía, como una alternativa de cambio para los combustibles fósiles en los automóviles y camiones de carga pesada, y fuente de generación de energía renovables (electricidad); en virtud de que, aproximadamente, este sector compone y consume el 30 % de la energía global (Sanaguano et al., 2019). En ese marco, no es casual el enorme interés de las naciones por contribuir a la producción masiva del biodiesel, particularmente, de aquellas que no poseen reservas de petróleo, y por mejorar su posicionamiento en el mercado como biocombustible de consumo principal.

Además, desde la posición de Alí y Jamshed (2020), en el caso específico del uso del biodiesel en motores, no es necesario que exista un cambio o modificación técnica en ellos, pues el biodiesel es un biocombustible que se adapta sin afectar su funcionamiento y rendimiento normal. De igual manera, gracias al enorme poder lubricante del biodiesel, se le emplea como una opción viable de aceite o grasa para los motores de dos tiempos, porque disminuye el deterioro de las toberas y ayuda a reducir el consumo excesivo de la bomba inyectora; además, figura como agente de limpieza de metales y de los motores de gasolina (Reséndiz-Vega et al., 2019).

2.5. Ventajas y desventajas del biodiesel

Al ser el biodiesel un combustible de carbono neutro con oxígeno, permite una combustión sostenible y amigable para el ambiente, puesto que no evidencia una emisión fuerte de gases contaminantes para la atmosfera; incluso, reduce los gases de efecto invernadero (GEI), tales como el CO_2, CH_4, N_2O, hidrocarburos, y otros más (Llanes et al., 2017). Por tal motivo, se ha considerado su uso en las diversas regiones del globo y se busca lograr su fortalecimiento mundial para mejorar las condiciones de vida del ser humano en el planeta Tierra.

Asimismo, desde el punto de vista de Llanes et al. (2017), el biodiesel no afecta el ecosistema marino como otros combustibles, ya que es un componente biodegradable en el agua, al igual que en la tierra, por lo que se recomienda su uso en zonas que son altamente propensas a la contaminación de los suelos por actividades extractivas como la minería. Principalmente, el biodiesel producido a base del aceite de cocina o residual es el que más ayuda a la reducción de la contaminación, puesto que, con solo un litro de aceite, se pueden afectar hasta 500 000 litros de agua (Vidal-Benavides et al., 2017). Es por esto que, dentro de los sectores de transporte y energía, el uso del biodiesel no solo puede ser una alternativa, sino que debe convertirse en una obligación.

Asimismo, la elaboración del biodiesel con aceites reutilizables, ayuda doblemente a la preservación de los ecosistemas, al cuidado ambiental y a la salud de los seres humanos. Ello, porque estos aceites residuales conforman un buen porcentaje de los elementos químicos que impiden el intercambio natural entre gases, oxígeno y luz solar en el mar, lo cual perjudica a la fauna marina y provoca cambios en la atmósfera. Igualmente, la reutilización constante de estos aceites en la cocina desencadena las enfermedades cancerígenas en las personas (Sanaguano et al., 2019).

Acto seguido, según las últimas investigaciones, acerca de los efectos positivos del biodiesel en el ambiente, se destaca la generación de glicerina

como un subproducto de este combustible. Como expresan Betancourt et al. (2016), la glicerina, a causa de su composición de hidrogeno y carbono orgánico, posee propiedades para fortalecer el crecimiento de las plantas y detener la extensión del nitrógeno por el suelo, es decir, conseguir su fijación. En relación con eso, se reconoce su apoyo en la reducción de la contaminación de la Tierra, su ayuda total en la reforestación de los territorios deforestados y en la lucha contra la desertificación.

En otro orden de cosas, desde la posición de Britton-Acevedo et al. (2017), la producción del biodiesel también tiene una dimensión social, porque promueve la creación de trabajos nacionales dentro de los procedimientos para la elaboración de biodiesel. De igual manera, tiene repercusión en los sectores de agricultura, pesca, energía, transporte, entre otros. Ello, porque propone una mayor seguridad ambiental en los momentos de producción. Además, la producción nacional de este biocombustible promete el desarrollo y fortalecimiento del mercado interno de biodiesel; de esta manera, los países se distancian de la dependencia importadora de petróleo de otras naciones e, incluso, de la constante disputa por este producto.

No obstante, considerando a León et al. (2016), la extracción masiva de materias primas para la producción de biodiesel es una problemática que debe ser solucionada, puesto que repercute directamente en la alimentación básica de las familias que viven de la agricultura, afecta las dinámicas de los ecosistemas y, debido a su explotación, produce escasez. Por esta razón, los autores indican que la extracción de productos que no sean para el consumo humano, pero que sean fuente de aceite natural, es una de las estrategias para la reducción de la explotación de materias primas y el crecimiento de una industria de biodiesel más sostenible.

Uno de los ejemplos clave es el caso del aceite de palma, en vista de que, a causa de su alta demanda en el mercado, produjo una explotación de tala extrema del árbol de la palma, ocasionando la deforestación de varias zonas de Asia y, en consecuencia, los incendios forestales, la desertificación del suelo, y la extinción y migración de la fauna de estos ecosistemas

(Reséndiz-Vega et al., 2019). A consecuencia de esto, en los últimos años, se han observado campañas ambientalistas contra la explotación de palma y su industrialización lo cual, evidentemente, esto también concierne a la industria del biodiesel, haciendo que su desarrollo cambie hacia el uso consciente y sostenible de otras materias.

Asimismo, para Andrade-Durán et al. (2016), otra desventaja del biodiesel es su falta de durabilidad, puesto que, por su carácter biodegradable, su capacidad de almacenamiento solo es de tres meses y, en este aspecto, se genera una pérdida si no se utiliza o almacena de la manera correcta. Por otro lado, según los autores, se ha demostrado que el biodiesel posee una menor competencia energética frente a los combustibles a base de petróleo. Por consiguiente, ante una sociedad que busca la mayor efectividad y productividad por un menor precio frente al cuidado ambiental, la opción del biodiesel es muy cuestionada.

En conclusión, el biodiesel es un biocombustible con gran aceptación a nivel internacional por su origen natural, su capacidad de renovación, su inmenso apoyo en el cuidado del medioambiente, su carácter biodegradable y su nula emisión de gases contaminantes para la atmósfera. No obstante, aún se evidencian desventajas en su uso sea por su bajo rendimiento en comparación al petróleo o por sus problemas en el almacenamiento. El cambio climático y el calentamiento global son problemáticas imparables, pero que, si se realizan transformaciones significativas en las dinámicas económicas y sociales, se pueden controlar. A este respecto, la producción y el uso de biodiesel aparecen como estrategias para contribuir con el cambio.

CAPÍTULO III

HIGUERILLA O *RICINUS COMMUNIS L.* VARIEDAD ROJA: CUESTIONES GENERALES

Actualmente, la indagación, producción y desarrollo de productos químicos innovadores con rasgos altamente sostenibles, se consideran uno de los grandes retos y desafíos dentro del campo o sector de la industria química. Así, uno de los propósitos planteados, desde el área de la química, es tratar de encontrar productos que resulten menos contaminantes o, en el mejor de los casos, sean renovables a partir del material vegetal, con la finalidad de sustituir tales materiales, considerablemente contaminantes, obtenidos de fuentes y recursos no renovables. Y es que, las recientes producciones de productos como los biocombustibles, demuestran la preocupación por nuevos productos alternativos a ciertos derivados del petróleo.

Pese a que la industria química tradicional se posiciona desde un interesante punto de vista, esta se inclina a apoderarse considerablemente del mercado; esa es la situación de los bioproductos, cuya contribución va seguido del aumento de materias energéticas e industriales que impulsan este sector (Golden, 2017).

Con este argumento, se pone énfasis en el estudio de las materias primas empleadas con fines ecológicos. Tal es el caso de la higuerilla o ricino, una de las especies vegetales que está siendo estudiada últimamente para la elaboración de uno de los biocombustibles que predomina en el sector químico: el biodiesel. Para ello, en este capítulo, se pretende plantear cuestiones globales de esta planta, conteniendo desde su origen hasta las aplicaciones que se dan a la misma.

3.1. La planta higuerilla

La higuerilla, o también llamada planta de ricino, es uno de los cultivos energéticos empleados en la producción de variedad de biocombustibles. La higuerilla, en palabras de Mejía "es una planta con usos industriales ya que es empleada para la producción de pinturas, aceites y combustibles. Adicionalmente, es utilizada en la medicina tradicional para tratar problemas estomacales" (2017, p. 47).

Tabla 1

Clasificación taxonómica de la higuerilla

Reino	*Plantae*
Subreino	*Traqueubionta* (Plantas vasculares)
Superdivisión	*Spermatophyta* (Plantas con semilla)
División	*Magnoliophyta* (Plantas con flores)
Clase	*Magnoliopsida* (Dicotiledóneas)
Subclase	*Rosidae*
Super orden	*Rosidas*
Orden	*Euphorbiales*
Familia	*Euphorbiaceae*
Subfamilia	*Acalyphoideae*
Tribu	*Acalypheae*
Subtribu	*Ricininae*
Género	*Ricinus*
Especie	*Ricinus communis*

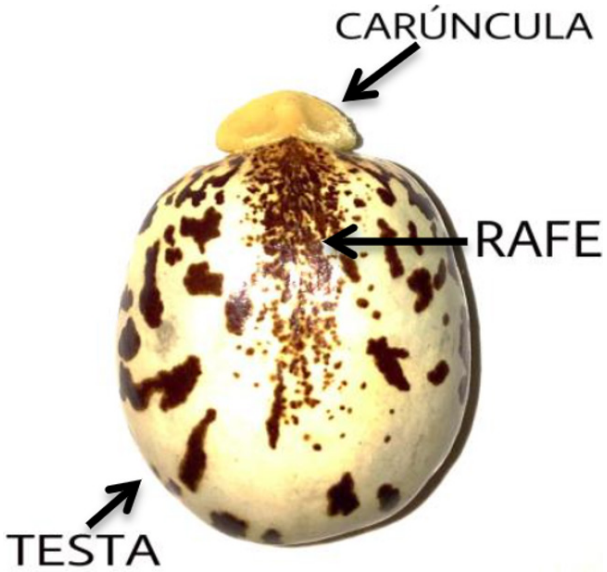
Nota: Adaptado de Cabrales et al. (2014).

Según Cabrales et al. (2014) se clasifican taxonómicamente según lo mostrado en la Tabla 1.

Es un aspecto, es científicamente denominada Ricinus communis L., palabra latina que significa garrapata, lo cual alude directamente a la apariencia de la semilla (Figura 1). Mientras que, en otras partes del mundo, es comúnmente reconocida como higuera del diablo, higuera infernal, higuereta, higuerilla, ricino, ricino mamona, palma de Cristo, palmacristi, castor bean, tártago, mamoneira, entre otras (Cabrales et al., 2014).

Figura 1

Semilla de higuerilla



Nota: Tomado de Portillo et al. (2017).

La higuerilla es una planta que tiene semillas oleaginosas, es decir, "son los vegetales de cuya semilla o fruto puede extraerse aceite, ya sea para uso industrial o comestible"; de igual manera, estas resaltan por ciertas modalidades de uso, ya sea por el sector agrícola o por la industria transfor-

madora, específicamente en la producción de aceite "para uso alimenticio y de pasta para la alimentación de ganado" (Sagarpa, 2017, p. 1). Dicha planta contiene, en la lámina de las hojas, nutrientes de tipo proteico y energético, pues presenta de 23 % a 32 % de proteína cruda y un 2.7 a 2.9 Mcal/kg MS de energía metabolizable para ovinos, bovinos y caprinos (Palma, 2018).

3.2. Origen

El origen de la higuerilla o planta de ricino es controversial. Se menciona que su lugar de procedencia radica en la India, otros autores sostienen que pudo ser nativo de Asia o América. No obstante, muchos apuntan, aseguran y coinciden que es procedente del continente africano (Raya et al., 2016). En ese marco, esta planta se expande al Medio Oriente como una especie de planta silvestre. Fue introducida en la mayor parte de las regiones del mundo, y es por ello que se le atribuye su inmensa biodiversidad, lo cual es reflejado en las diversas cualidades que pueda poseer, ya sea en cuanto a tamaño, color, altura, tallos, hojas, presencia o carencia de espinas, entre otras condiciones más. Supone, por lo tanto, que estas variaciones dependen de la distribución geográfica en la que frecuentan cultivarse este tipo de plantas (Vasco-Leal et al., 2017).

Ante lo mencionado, esta planta mantiene una distribución geográfica muy amplia. La higuerilla predomina en las zonas o regiones tropicales y subtropicales a lo largo del mundo. Generalmente, la higuerilla crece en zonas donde la temperatura es mayor o igual a los 20º C. En suma y en rasgos altitudinales, estas plantas suelen crecer en áreas que oscilan los 2 400 metros sobre el nivel del mar. Una vez más, ello es motivo de la diversidad fenotípica, genotípica y morfológica de las mismas (García et al., 2018).

3.3. Características y propiedades de la higuerilla

Esta planta, como hemos visto, ha sido punto de debate en relación con el lugar de origen, no obstante, indistintamente al lugar o zona de

procedencia, la planta de ricino se ha logrado adaptarse ampliamente entre las distintas partes del mundo. Por tal motivo, la higuerilla "se caracteriza por su rusticidad y adaptabilidad a diversas condiciones topográficas y climatológicas, crece comúnmente en regiones áridas, con suelos arenosos y es conocida por la población rural como una maleza sin significancia económica" (Sánchez et al., 2016, p. 507).

Tabla 1

Clasificación taxonómica de la higuerilla

Raíz	Pivotante Gruesas Gran profundidad
Tallo y ramas	Engrosado Erguido Recto Segmentado
Hojas	Grandes Alternas Acristaladas Bordes dentados Bordes serrados Lóbulos acuminados Peciolos redondos Nervación palmatinervia
Fruto	Cápsula trilocular Verdes y rojos
Semilla	Oval aplastada Brillante Lisa Blanco, gris, negro rojo y castaño Tóxica

Nota: Adaptado Matailo (2021); Vélez (2021) y Portillo et al. (2017).

Por esta razón, se infiere que esta especie herbácea muestra resistencia a la sequía y adaptación a los suelos degradados, contaminados, erosionados y de baja fertilidad; de esta manera, responde positivamente en cuanto al crecimiento en distintas zonas mundiales sin competir con el cultivo o desempeño de las demás especies (Tabla 2) (Vasco-Leal et al., 2018).

La higuerilla, como una planta de crecimiento anual o perenne, presenta componentes que resultan dependientes de las condiciones ambientales. Consecuentemente, es que se hace mención a su enorme variabilidad en cuanto a las características morfológicas (Solís et al., 2016). Sin embargo, al igual que las demás plantas, la higuerilla es muy similar a un arbusto pues puede llegar hasta los 5 metros de altura, su tallo es erecto, hueco, ramificado; puede ser de distintos colores según la variedad de la planta; las hojas capturan y aprovechan el efecto solar óptimamente por la posición horizontal en la que tienden a crecer, son grandes, presentan lóbulos que van desde 7 a 12 de acuerdo con la variedad a la que pertenezcan; al igual que el tallo, la forma y color de las hojas son distintas en cuanto a la variedad. La higuerilla presenta inflorescencias, donde se encuentran distintos tipos de expresión sexual. Son agrupadas en racimos donde las flores masculinas crecen mayormente en la parte inferior y las flores femeninas crecen en la parte superior (Portillo et al, 2017).

Los frutos pueden cambiar de color conforme a las etapas de maduración, por lo que no se establece un color en específico. Dicho fruto, generalmente, contiene tres semillas grandes y mantienen una apariencia semejante a la de una garrapata (Figura 2).

Estas semillas son brillantes y presentan un diseño único por su estilo moteado en colores marrón, gris, negro, amarillo y blanco; puede presentar una forma ovalada, esférica o alargada, están cubiertas por una testa muy dura que sirve para proteger el albumen (abundante en aceite), y del mismo modo, en la parte externa, la carúncula es fuente proveedora de lípidos, almidones, proteínas y vitaminas (Portillo et al., 2017).

Figura 2

Características morfológicas de las semillas

Nota: Tomado de Sagarpa (2018).

La semilla de la higuerilla, como producto o insumo alimenticio animal, está compuesta de proteínas, fibra, calcio, fósforo, y otros. En un promedio porcentual, Goñas y Bernal (2019), caracterizan química y nutricionalmente esta semilla oleaginosa según se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Caracterización químico nutricional de la semilla de higuerilla

Componente	Promedio
Ceniza	5.37 ± 0,6
Energía bruta (Mcal/kg)	6.84 ± 0,2
Extracto etéreo	34.55 ± 5,3
Extracto libre de nitrógeno	15.57 ± 0,6
Fibra cruda	32.78 ± 6,4

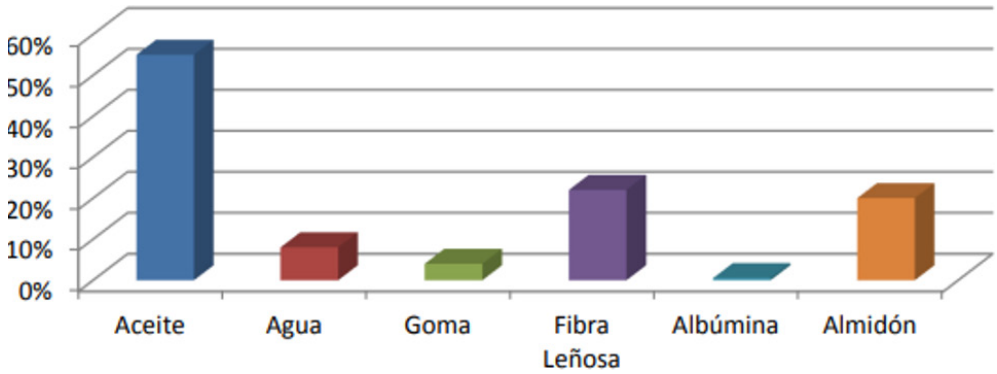
Componente	Promedio
Fibra detergente ácida	37.05 ± 5,1
Fibra detergente neutra	48.03 ± 1,2
Humedad	4.46 ± 0,6
Proteína cruda	18.96 ± 0,2
Calcio	0.35 ± 0,0
Fósforo	0.52 ± 0,2
Digestibilidad	63.22 ± 1,8

Nota: Tomado de Goñas y Bernal (2019).

Del mismo modo, las semillas de la higuerilla están compuestas por una resina alta en toxicidad, lo cual resulta perjudicial tanto para el ser humano como para los animales, por ende, se recomienda tener cuidado en relación con su modo de empleo. Generalmente, la composición porcentual de la semilla de higuerilla está basada en lo siguiente: contiene aproximadamente 46 % de aceite, 20 % de almidón, 0.5 % albúmina, 4 % goma, 1 % resina bruta, 20 % fibra leñosa y 7 % de agua (Espín, 2016).

Figura 3

Composición de la semilla de higuerilla



Nota: Tomado de Espín (2016).

3.4. Variedades de la higuerilla

Las variedades genéticas de la planta de higuerilla se describen de acuerdo con el tamaño o altura, color de tallo, color de hojas, forma de ramificación, tamaño de semilla, color de semilla, relieve o textura de las semillas, dehiscencia de frutos, tamaño de las semillas, contenido de espinas, entre otras propiedades (Cabrales et al., 2014). En la Tabla 4 se consideran las seis subespecies del *Ricinus communis* con mayor relevancia.

Tabla 4
Principales subespecies de la higuerilla

Subespecie	Características
Ricinus communis var. *Minor*	Baja altura: 1 a 1,5 m Ramificada desde la base Precoz Cápsulas dehiscentes Semillas pequeñas
Ricinus communis var. *Mayor*	Mayor altura Menos precoz Dehiscentes Semillas grandes
Ricinus communis var. *Sanguineus*	Tallo, rama y hojas rojo vinoso Gran porte Vigorosa Semillas grandes Alto porcentaje de aceite
Ricinus communis var. *Inermes*	De clima tropical Cápsulas sin espinas Bajo contenido de aceite
Ricinus communis var. *Viridis*	Tallo, hoja y fruto verde Abunda en África Occidental Carece de cera Semillas pequeñas

Subespecie	Características
Ricinus communis var. *Zanzibarinus*	De clima tropical Gran frondosidad Vigorosa Semillas grandes Bajo contenido de aceite

Nota: Tomado de Cabrales et al. (2014).

3.5. Usos de la higuerilla

La planta de higerilla posee múltiples usos para la sociedad, sin embargo, es necesario resaltar que, entre sus componentes, encontramos alta toxicidad, por lo que esta planta puede ser empleada como insecticida (Belesansky et al., 2021). Entre el extracto vegetal (acuoso y aceitoso) de higuerilla, presenta altos niveles de mortalidad. En un estudio en el que las larvas fueron expuestas por contacto directo durante 24 horas al tratamiento de la higuerilla como insecticida, se halló un aproximado de 10.86 % de mortalidad en el extracto aceitoso; al mismo tiempo, el porcentaje logró incrementarse con el transcurrir del tiempo, pues a las 72 horas, el efecto se incrementó hasta el 25.31 % de mortalidad acumulada (Rodríguez et al., 2017).

Así, de los residuos obtenidos luego de la extracción mecánica del aceite hallado en la semilla, se rescata un recurso proteico alto en fibra y grasas: la torta de higuerilla. La cantidad de torta puede variar conforme con la cantidad de aceite encontrado en la semilla. No obstante, se hace un estimado general donde por cada 1000 kilos de semilla de higuerilla, se consiguen obtener unos 550 kilos de torta aproximadamente, de lo cual se enfatiza que puede ser un suplemento alternativo en la alimentación animal por su alto contenido en nitrógeno y minerales, por ejemplo, sería una

alternativa de alimentación en el caso de las vacas, al reemplazar la torta de soya por la torta de higuerilla (Ramírez y Giraldo, 2017; Sosa, 2018).

La higuerilla contiene una poderosa toxina proteica: la ricina. Esta es considerada altamente venenosa, por lo tanto, su uso debe ser moderado y con precaución. La ricina contiene proteínas inactivadoras de ribosomas del tipo 2, caracterizadas por dos cadenas polipeptídicas, tanto es así que si logra ingerirse puede causar la muerte en el ser humano. Por ello, luego de seis horas, aproximadamente, de haber sido consumido, aparecen los primeros síntomas: diarrea, vómitos, dolor en la zona abdominal, y otros malestares que llegan al desenlace fatal, por lo cual es considerada como un arma letal capaz de crear graves lesiones en distintos órganos del cuerpo (Mongiello, 2015).

3.6. Aceite de higuerilla: compuestos, propiedades, aplicaciones y producción

Entre los principales usos industriales de la higuerilla sobresale el destacable aceite, el cual es extraído de las semillas. Este es conocido como aceite de ricino o de castor y es una de las materias primas con mayor importancia en la industria química. Puede ser empleado también en la industria cosmética, farmacéutica y en la elaboración de distintos productos: plásticos, pinturas, barnices, entre otros (Castañeda y Contreras, 2017).

El aceite de ricino está formado por triglicéridos. La molécula de triglicérido presenta una cadena larga de 18 carbonos con doble enlace. Asimismo, el ácido ricinoleico del aceite de ricino es el único elemento predominante entre todos los demás aceites vegetales. Ello, lo hace más atractivo para un amplio panorama de aplicaciones (Yeboah et al., 2020).

Por ende, el aceite de ricino está compuesto, en mayor proporción, por un ácido graso: ácido ricinoleico, el cual abarca un 90 % aproximadamente. Adicional a ello, este aceite consta, en menor proporción de otros ácidos saturados e insaturados: 4 % de ácido linoleico, 3 % de ácido oleico, 1 % de

ácido esteárico, 1 % de ácido palmítico, menos de 1 % de ácido dihidroxiesteárico, menos del 1 % de linolénico y menos de 1 % de ácido eicosanoico (Mobofu, 2016). Esto puede ser descrito específicamente en la Figura 4:

Figura 4

Ácidos grasos del aceite de higuerilla

89.5 % Ácido ricinoleico

4.2 % Ácido linoleico

3 % Ácido oleico

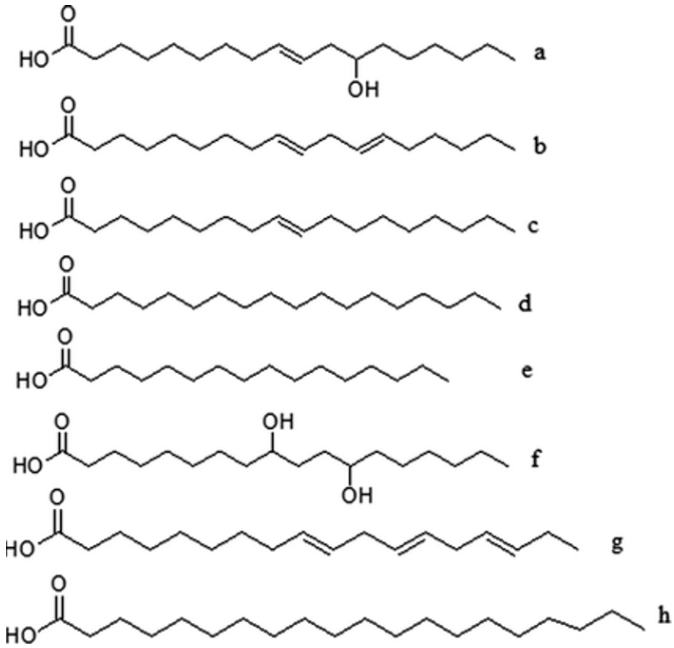
1 % Ácido esteárico

1 % Ácido palmítico

0.7 % Ácido dihidroxiesteárico

0.3 % Ácido Linolénico

0.3 % Ácido eicosanoico



Nota: Adaptado de Mobofu (2016).

El aceite de ricino o de higuerilla contiene compuestos biológicos menores, que incluyen carotenoides. Estos son antioxidantes capaces de eliminar radicales libres, tocoferoles, quienes controlan las funciones de la membrana inhibiendo la oxidación de los lípidos corporales, tocotrienoles. Del mismo modo, cumplen la función de antioxidante natural en los aceites (fitosterol, fosfolípidos y fitoquímicos), los cuales son responsables de la actividad antimicrobiana en el aceite; y, finalmente, los fenólicos, quienes aportan o contribuyen en el sabor y la actividad antioxidante. En

general, estos compuestos ofrecen una mayor estabilidad a la oxidación, los cuales poseen propiedades antiinflamatorias y antioxidantes al aceite de higuerilla (Yeboah et al., 2020).

Las propiedades fisicoquímicas de la semilla de ricino está en función de los valores de ácido, es decir, al índice de acidez (IA-mg/g), anisidina, que evalúa la oxidación del aceite o grasa; índice de yodo, el cual señala el número promedio de insaturaciones de los ácido grasos contenidos en el aceite; índice de viscosidad, como una medida de fricción entre las moléculas de los líquidos; y, el índice de saponificación, el cual refiere a la hidrólisis alcalina en la composición lipídica entre KOH o NaOH. Estos parámetros muestran que el ricino tiene una buena calidad de aceite en comparación con otros aceites vegetales (González, 2018).

En la industria existe una variedad de modalidades con relación a la extracción del aceite de ricino o higuerilla: extracción mecánica, extracción por solventes (extracción química), o extracción por prensado (separación de líquido mediante presión) en caliente y prensado en frío. En la extracción, por prensado en caliente, se conlleva a una operación de refinado, así, se garantiza las cualidades requeridas por el público consumidor; mientras que, en el prensado en frío, se contribuye en la retención de compuestos fotoquímicos de interés de los mismos (Sapuyes, 2019).

Para realizar una extracción mecánica, previamente se calienta la semilla, logrando una temperatura de 60° C aproximadamente. De esta manera, se requiere romper las paredes celulares para que escape el aceite; reducir el índice de viscosidad del aceite; tener control del contenido húmedo; coagular proteínas; inactivar enzimas; inhibir a la toxina; y, eliminar microorganismos (Álvarez, 2019).

La siguiente modalidad es la extracción química o por solventes. Este método de extracción, da cuenta de la obtención de aceite crudo partiendo de semillas secas y molidas. Consta de cuatro funciones principales: extracción, remoción del solvente del aceite, destilación y recuperación

del solvente. Asimismo, se hace mención que la extracción con solventes químicos, se emplea comúnmente para conseguir lípidos de fuente animal y vegetal. Este método extrae lípidos polares y no polares gracias a un solvente apolar (Álvarez, 2019).

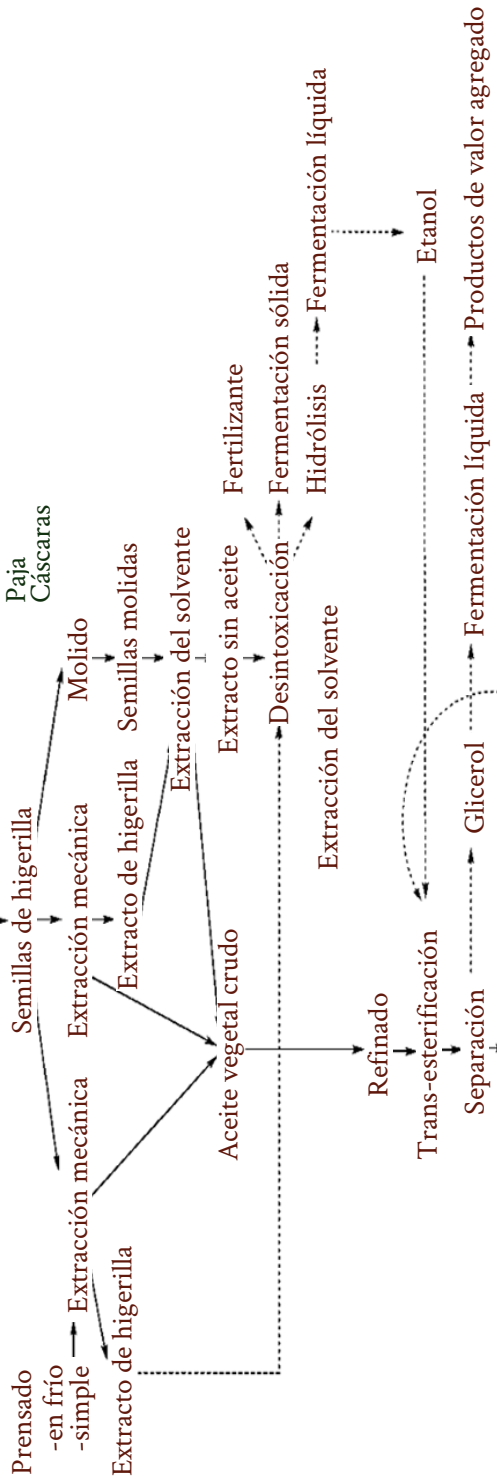
El aceite de higuerilla o ricino tiene una diversa variedad de aplicaciones en el sector industrial. Su principal aplicación es la de combustible y biodiesel. Hoy en día, se continúan realizando investigaciones en cuanto a la producción de biodiesel, sin embargo, se hace mención de que Brasil es uno de los principales consumidores de biodiesel, puesto que consideran a este producto como parte de la industria química, ya que resulta beneficiosa también para la sociedad (Patel et al., 2016).

Como lo hace notar Patel et al. (2016), añaden que el aceite de ricino es utilizado también en la elaboración de jabones, ceras y grasas, e igualmente, es una fuente generadora de lubricantes, líquidos hidráulicos y de frenos, en las industrias cosméticas, farmacéuticas, medicinales, entre otras más.

El aceite de ricino consiste en un líquido de color amarillo claro con ligeras proporciones picantes. Este aceite vegetal es empleado en la producción de biocombustibles, el biodiesel. En primer lugar, para la producción de biodiesel (Figura 5) partiendo de las semillas oleaginosas, se debe extraer el aceite mediante una prensa mecánica o disolvente (Figura 5). Para ello, es necesario identificar la viscosidad del aceite, de no ser así, el aceite es extraído por solventes, donde se requiere de una etapa de evaporación, la cual permite recuperar el solvente. Adicionalmente, luego de tal extracción, se necesitará del refinado, filtrado, centrifugado, desodorización, decoloración o acondicionamiento para mejorar la calidad del biodiesel obtenido (Osorio et al., 2020).

Figura 5

Estructura general para producir biodiesel a partir del aceite de higuerilla



Nota: Adaptado de Osorio et al. (2020).

Siguiendo a Osorio et al. (2020), en el proceso del refinado, se consideran los siguientes pasos: el desgomado, donde los fosfátidos se eliminan por acidificación, precipitación y sedimentación; la neutralización, en esta etapa se eliminan los ácidos grasos; el blanqueo, es empleado para eliminar el color; y, finalmente, la humedad es eliminada a través del secado.

De esta manera, se sostiene que el biodiesel se produce a través de distintos procesos: mezcla de aceite, micro emulsiones y transesterificación (Ismail et al., 2016). Entonces, este proceso consiste en la combinación de aceites vegetales con un alcohol ligero, como el metanol, de modo que la glicerina sea el residuo aprovechado en la industria cosmética u otra.

A modo de síntesis, *Ricinus communis* resulta una especie de planta perteneciente a la familia *Euphorbiaceae* y frecuentemente es reconocida por la presencia de aceite en su semilla: aceite de ricino. Del mismo modo, esta planta originaria de África, es cultivada en zonas silvestres y en las regiones o países tropicales y subtropicales del mundo. En condiciones salvajes, esta planta se adapta a diversas superficies, por lo que es capaz de permanecer de pie durante mucho tiempo, incluso en períodos de sequía. Resultados de los experimentos de transesterificación de aceite de higuerilla, es que se hace mención que el biodiesel de ricino posee propiedades interesantes, demostrando que este combustible es muy adecuado para ser empleado.

CAPÍTULO IV

EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (*RICINUS COMMUNIS L.* VARIEDAD ROJA) PARA ELABORAR BIODIESEL EN LA REGIÓN DE AYACUCHO-2009

La mayoría de los países a nivel mundial se han interesado por las nuevas formas en las que se puede generar energía. Ello, a causa de reemplazar los evidentes efectos nocivos del petróleo. En ese contexto, los biocombustibles, en especial el biodiesel, emergió como una excelente alternativa con potencial de desarrollo sostenible, debido a que sus modalidades de empleo contribuyen en reducir o minimizar el deterioro del medioambiente.

Partiendo de la concepción del biodiesel como un combustible ecoamigable, diremos que su uso resultó una necesidad con relación a las ciudades cuyo parque automotor realiza distintas operaciones con diésel. De esta forma, los niveles de contaminación aumentaron causando daño a la salud

de las personas y al medio en el que se desarrollan.

La producción de biodiesel, obtenida a partir de cultivos que contienen altas cantidades de aceite, tales como fruto de la palma, soya, girasol, higuerilla, entre otras, facilitó que las distintas regiones puedan aprovechar estos recursos para poder elaborar su propio combustible sin necesidad de generar cambios en los motores diésel. Por esta razón, la presente investigación considero las modalidades en las que se aprovechó el cultivo de semillas de higuerilla a través de la óptima extracción de aceite como una alternativa para la producción de biodiesel en la región de Ayacucho.

4.1. Objetivos

4.1.1. Objetivo general

Extraer aceite mediante parámetros adecuados por prensado a partir de semillas de higuerilla de la variedad roja (*Ricinus communis L.*), para ser utilizado como materia en la elaboración de biodiesel en la región de Ayacucho.

4.1.2. Objetivos específicos

- Determinar las condiciones adecuadas de temperatura y tiempo para la extracción de aceite a partir de las semillas de higuerilla.
- Caracterizar oleaginosamente y químicamente el aceite de higuerilla extraído para la elaboración de biodiesel.
- Determinar la influencia de la temperatura de reacción y del porcentaje de la concentración del hidróxido de sodio en la elaboración de biodiesel a partir del aceite de higuerilla.

4.2. Hipótesis

4.2.1. Hipótesis general

La extracción de aceite por medio de parámetros adecuados de temperatura y tiempo, mediante prensado mecánico de las semillas de higuerilla de la variedad roja, permitirá ser utilizado como materia prima para la elaboración de biodiesel en la región de Ayacucho.

4.2.2. Hipótesis específicas

- Los parámetros adecuados de temperatura y tiempo de extracción mediante prensado a partir de las semillas de higuerilla permitirán obtener un buen rendimiento en el volumen de aceite.
- El índice de acidez, yodo y saponificación, y, el contenido de ácido ricinoleico del aceite de higuerilla se encontrarán dentro del rango establecido para elaborar biodiesel.
- En la metanólisis básica, la temperatura y la concentración, en porcentaje en peso de hidróxido de sodio, tienen una influencia significativa en la elaboración de biodiesel.

4.3. Sistema de variables

4.3.1. Variables en la extracción del aceite de higuerilla

4.3.1.1. Variables independientes (X)

- Temperatura de extracción
- Tiempo de extracción

4.3.1.2. Variable dependiente (Y)

- Volumen de aceite de higuerilla

4.3.2. Variables en la elaboración de biodiesel

4.3.2.1. Variables independientes (X)

- Temperatura de reacción
- Concentración en porcentaje del catalizador

4.3.2.2. Variable dependiente (Y)

- Rendimiento de biodiesel

4.4. Operacionalización de hipótesis, variables e indicadores

4.4.1. Hipótesis general

4.4.1.1. Para la extracción de aceite de higuerilla

4.4.1.1.1. Variables independientes (X)

- Temperatura
- Tiempo

Categorías

- Grados centígrados
- Minutos

Indicadores

- X_1: 20, 30, 40, 50, 60 70 y 80 ºC
- X_2: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 y 120 minutos

4.4.1.1.2. Variable dependiente (Y)

- Volumen de aceite

4.4.1.2. Para la elaboración de biodiesel

4.4.1.2.1. Variables independientes (X)

- Temperatura
- Concentración en porcentaje de catalizador

Categorías

- Grados centígrados
- Concentración en porcentaje en peso

Indicadores de X

- X_1: 20, 30 y 40 ºC
- X_2: 0,45, 0,60 y 0,75 de concentración en % en peso

4.4.1.2.2. Variable dependiente (Y)

- Biodiesel

Categorías

- Volumen de biodiesel
- Propiedades físicas

Indicadores de Y

- Rendimiento en porcentaje en volumen de biodiesel
- Poder calorífico, densidad, viscosidad e índice de acidez

4.4.2. Hipótesis específicas

4.4.2.1. De la extracción de aceite

4.4.2.1.1. Variables independientes (X)

- Temperatura
- Tiempo

Indicadores

- X_1: 20, 30, 40, 50, 60 70 y 80 ºC
- X_2: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 y 120 minutos

4.4.2.1.2. Variable dependiente (Y)

- Aceite de higuerilla

Indicadores

- Y_1: Volumen de aceite de higuerilla

4.4.2.2. De la caracterización del aceite

4.4.2.2.1. Variables independientes (X)

- Técnicas de caracterización oleaginosas
- Técnica de cromatografía de gases

Indicadores

- X_1: Propiedades oleaginosas del aceite de higuerilla
- X_2: Composición química del aceite de higuerilla

4.4.2.2.2. Variable dependiente (Y)

- Calidad del aceite de higuerilla

Indicadores

- Y_1: Índices oleaginosos
- Y_2: Contenido de ácido ricinoléico

4.4.2.3. De la elaboración de biodiesel

4.4.2.3.1 Variables independientes (X)

- Temperatura de reacción
- Concentración en porcentaje de catalizador

Indicadores

- X_1: 20, 30 y 40 ºC
- X_2: 0,45, 0,60 y 0,75 %

4.4.2.3.2. Variable dependiente (Y)

- Biodiesel

Indicadores

- Volumen de biodiesel
- Propiedades físicas del biodiesel (poder calorífico, densidad, viscosidad e índice de acidez)

Tabla 5

Operacionalización de la hipótesis, variable e indicadores

Variable		Categorías	Indicadores	
Variable independiente (X)	Temperatura de extracción	Grados centígrados	X_1	20, 30, 40, 50, 60, 70 y 80 ºC
	Tiempo de extracción	Tiempo (minutos)	X_2	0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 y 120 minutos
	Temperatura de reacción		X_3	20, 30 y 40 ºC
	Concentración en porcentaje de catalizador	Concentración (%) en porcentaje en peso	X_4	0,40; 0,60 y 0,75 %
Variable independiente (X)	Aceite de higuerilla	Volumen (mL)	Y_1	Volumen de aceite
			Y_2	Índices oleaginosos
			Y_3	Composición del ácido ricinoleico
	Biodiesel		Y_4	Rendimiento de biodiesel
			Y_5	Propiedades físicas del biodiesel
Variable interviniente		Rendimiento de biodiesel	Equipo cerrado para la reacción	

4.5 Metodología, tipo, nivel y diseño de la investigación

4.5.1. Metodología de la investigación

El método utilizado en el presente estudio fue el experimental, debido a que se evaluó el volumen de extracción de aceite, el rendimiento del biodiesel obtenido y su caracterización física parcial.

4.5.2. Tipo de la investigación

El presente estudio corresponde al tipo de investigación aplicativo y tecnológico, pues se trabajó con muestras que sirvieron en la extracción de aceite y en la elaboración de biodiesel.

4.5.3. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación fue el experimental, puesto que se aplicaron mediciones a las semillas de higuerilla, aceite y biodiesel.

4.5.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue experimental, porque se aplicó un conjunto de mediciones para la materia prima, como es la caracterización biométrica de los frutos y de las semillas, la caracterización fisicoquímica del aceite y del biodiesel. El diseño experimental seleccionado para la elaboración de biodiesel, era el diseño factorial en tres niveles, del tipo 3^2, diseño que estudia los efectos de 2 factores como es la temperatura de reacción y concentración en porcentaje de catalizador, en 9 ejecuciones con dos repeticiones.

4.6. Universo, población y muestra

4.6.1. Universo

En la primera etapa de la extracción de aceite, se tomó la cosecha de una hectárea de frutos de higuerilla en el anexo Santa Rosa de Huatatas, distrito de Tambillos, provincia de Huamanga, en el departamento de Ayacucho, a una altitud de 2 850 m s.n.m.

4.6.2. Población

En la primera etapa, la población para la extracción de aceite, estaba constituida por 50 kilogramos de frutos de higuerilla.

En la segunda etapa, la población para la elaboración de biodiesel estaba establecida según el diseño experimental seleccionado. Para cada ensayo se tomaron 100 mL de aceite de higuerilla.

4.6.3. Muestra

La muestra estuvo determinada por el diseño experimental seleccionado, y fue igual a la población.

4.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.7.1. Técnica de recolección de datos

Dentro de las técnicas a utilizarse, se basó en las siguientes:

- Volumetría
- Cromatografía de gases
- Calorimetría

4.7.2. Instrumentos de recolección de datos

- Prensa mecánica
- Cromatógrafo de gases
- Bomba calorimétrica
- Viscosímetro de hidrocarburos líquidos
- Kits para determinar agua

4.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos recolectados

4.8.1. Selección y representación por variables

4.8.1.1. Variables independientes

- X_1 Temperatura de extracción
- X_2 Tiempo de extracción
- X_3 Temperatura de reacción
- X_4 Concentración en porcentaje de catalizador

4.8.1.2. Variables dependientes

- Y_1 Aceite de higuerilla
- Y_2 Rendimiento de biodiesel

4.8.2. Procesador sistematizado computarizado

En el presente estudio se utilizó el procesador sistema Excel para el graficado de las curvas de extracción, y diseño factorial para evaluar la influencia del porcentaje en peso de la concentración de catalizador y

temperatura de reacción en la elaboración de biodiesel. Para este último, se utilizó el programa *Statgraphics plus* (StatWizard) versión 5.1.

4.8.3. Pruebas estadísticas

Para las pruebas de hipótesis se utilizó la prueba de t-Student, Análisis de varianza (*F-Fisher*) con nivel de significancia del 5 %.

4.9. Análisis e interpretación de resultados

4.9.1. Presentación de resultados

Respecto a los diversos ensayos, estos se desarrollaron en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. En esta etapa del trabajo se reportaron los resultados con sus respectivas interpretaciones y gráficos correspondientes. Asimismo, se presentaron la contrastación de hipótesis en la situación que correspondía dentro del estudio.

4.9.2 Caracterización biométrica de la materia prima

Los frutos de higuerilla (*Ricinus Communis L.*) utilizados en el presente trabajo son de la variedad roja, cosechadas en el anexo de Santa Rosa de Huatatas (distrito de Tambillos, 2 850 m s.n.m.), provincia de Huamanga, en el departamento de Ayacucho. La caracterización biométrica de las semillas de higuerilla consistía en pesar los frutos, semillas y cotiledones. Para determinar la masa, se empleó la balanza analítica y un vernier para las mediciones de longitudes. Las características biométricas consideradas se basaron en lo siguiente: peso total del fruto, peso de la cáscara (epicarpio-mesocarpio), peso del endocarpio, peso de la semilla, peso de la testa variolada, peso promedio del cotiledón o almendra pelada, longitud de la semilla ancho de la semilla, y el espesor de la semilla.

Tabla 6

Características biométricas del fruto en función de la masa

Características	Unidad	Promedio	(%)
Peso total del fruto	g	200,90	100,00 %
Peso cáscara del fruto (epicarpio -mesocarpio)	g	33,20	16,52 %
Peso de la cáscara del endocarpio (cápsula)	g	54,80	27,28 %
Peso de la testa variolada (cubierta)	g	31,70	15,78 %
Peso de cotiledón (almendras blancas)	g	80,60	40,12 %
Pérdidas	g	0,60	0,30 %

De acuerdo con la Tabla 6, las características biométricas de los frutos de higuerilla, con base al peso porcentual, resultó en lo siguiente: 16,52 % de cáscara de frutos y 27,28 % de cáscara del endocarpio. Con respecto a las semillas rojas, se obtuvo: 15,78 % de la testa variolada, 40,12 % de cotiledón, y finalmente, 0,30 % en pérdidas.

Adicionalmente, algunos indicadores físicos como unitario de masa y longitud del endocarpio, semillas y almendras blancas (cotiledón), concluyeron en lo mostrado en la Tabla 7.

Tabla 7

Indicadores físicos de masa y longitud por unidad

Indicador	Valor
Pesos promedio	
Peso promedio de cada fruto	4,08 g
Peso promedio de un endocarpio	1,34 g
Peso promedio de una semilla roja	0,864 g
Peso promedio de un cotiledón	0,655 g

Indicador	Valor
Semilla roja	
Longitud promedio	17 mm
Ancho promedio	14 mm
Espesor promedio	8 mm
Semilla pelada	
Longitud promedio	15,3 mm
Ancho promedio	13,4 mm
Espesor promedio	6,7 mm

4.9.3. Análisis químico proximal de las semillas

Para desarrollar el análisis químico proximal, se emplearon las técnicas según la Asociation Official Agricultural Chemical 1998 (AOAC):

- Determinación de humedad
- Determinación de proteínas
- Determinación de grasas totales
- Determinación de cenizas totales
- Determinación de la fibra bruta
- Determinación de nifex

Tabla 8

Composición química proximal de las semillas de higuerilla

Componente	Porcentaje (%)
Humedad	6,52 %
Proteínas	16,03 %
Grasas totales	61,30 %
Cenizas	2,96 %

Componente	Porcentaje (%)
Fibra bruta	10, 65 %
Nifex	2,54 %

Como podemos observar en la Tabla 8, los resultados obtenidos de la composición química proximal de las semillas de higuerilla, que comparadas con lo reportado por Valderrama et al. (1994), el contenido de grasas totales de las semillas de higuerilla en el trabajo desarrollado es de 61,30 %, siendo mayor en un 6,30 % de aceite. Esto refleja que las semillas de higuerilla de la región de Ayacucho contienen mayor cantidad de aceite. En cuanto a las proteínas, se obtuvo 16,03 %, valor que se encuentra dentro del rango 15 y 17 %. La humedad determinada es de 6,52 %, igualmente, se encuentra en el rango estimado de 5 y 7 %. A propósito de las fibras, se observó una pequeña variación de 6 % menos, según lo estipulado teóricamente. Finalmente, el valor porcentual de las cenizas se halla dentro del rango 2 y 3 % de las propiedades señaladas por los autores. Ante ello, se concluye que los valores del análisis químico proximal de las semillas de higuerilla obtenidos en el presente estudio, están dentro de lo reportado en otros trabajos de investigación relacionados a la extracción de aceite de higuerilla.

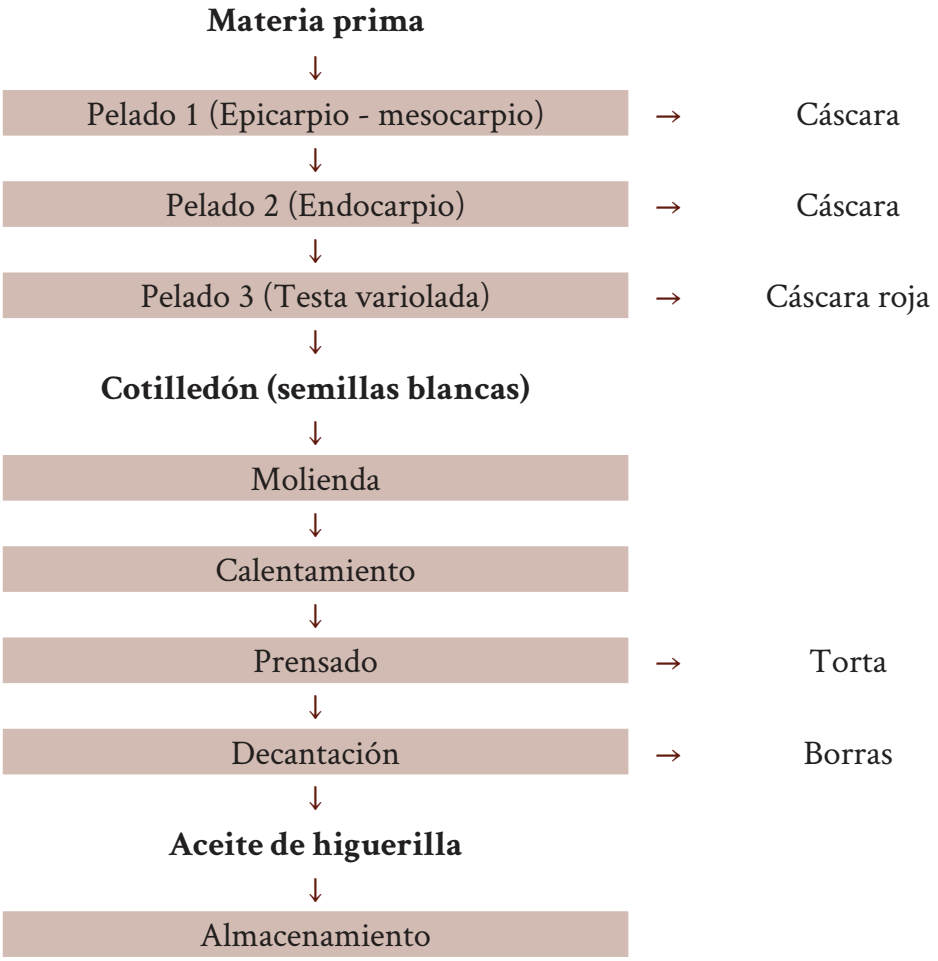
4.9.4. Proceso de extracción de aceite

En cuanto al tratamiento de la materia prima, se inició con la recepción de frutos. A continuación, se optó por el descascarado del fruto (epicarpio y mesocarpio), empleando una peladora artesanal. Seguidamente, se realizó la remoción de la cascarilla externa (endocarpio), por lo que se empleó un ventilador casero. Luego, continuamos con el pelado de las semillas rojas (testa variolada), de igual manera, se empleó una peladora artesanal. Para la molienda de las semillas se utilizó el molino manual; más adelante, respecto al calentamiento de la pasta de higuerilla, se empleó un horno microondas. Asimismo, para el prensado se realizaron ensayos preliminares que sirvieron en la definición de la masa adecuada

de pasta de higuerilla frente a una adecuada extracción de aceite; en la decantación se separaron las borras y algunas partículas sólidas presentes en el aceite. Por último, almacenamos el aceite decantado en recipientes de vidrio o de PVC, adecuados para su conservación.

Figura 6

Diagrama de bloque cualitativo del proceso de acondicionamiento de los frutos de higuerilla y la respectiva extracción de aceite



En la Tabla 9, se detallan valores de volumen de aceite y rendimiento de extracción con base al porcentaje en m/m a diferentes tiempos y temperaturas, y que, al graficar el volumen de aceite versus el tiempo de extracción, se obtiene la gráfica de curvas de extracción que se visualiza en la Figura 7. La gráfica en mención nos permitió determinar el tiempo adecuado del proceso de extracción y, en forma simultánea, la temperatura adecuada de extracción.

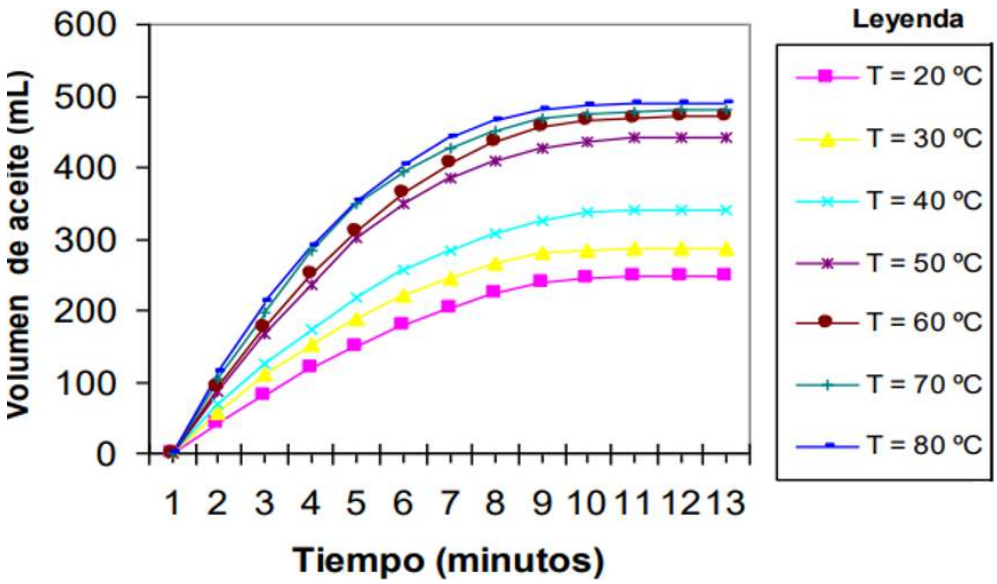
Tabla 9

Volumen de aceite acumulado a diferentes temperaturas, tiempo y rendimiento en función de % m/m

Tiempo (min.)	T = 20 °C	T = 30 °C	T = 40 °C	T = 50 °C	T = 60 °C	T = 70 °C	T = 80 °C
	Vol. Total mL	Vol. Total mL	Vol. Total mL	Vol. Total mL	Vol. Total mL	Vol. Total mL	Vol. Total mL
0	0	0	0	0	0	0	0
10	43	57	68	86	93	103	112
20	82	109	125	166	175	197	211
30	118	151	173	237	250	285	290
40	150	188	217	301	311	348	351
50	178	220	256	349	364	395	403
60	203	246	283	384	405	426	441
70	224	265	306	410	435	452	466
80	239	280	325	426	456	468	482
90	245	285	336	437	465	475	487
100	248	287	341	441	470	479	489
110	248	287	341	441	472	481	489
120	248	287	341	441	472	481	489
Rend. % m/m	23.82	27.56	32.75	42.35	45.33	46.20	46.96

Figura 7

Volumen de aceite extraído en tiempos y temperaturas diferentes



Asimismo, en la Tabla 10, se muestra el tiempo en el que ocurre la declinación del volumen total obtenido. Todo ello, en función al tiempo y a las temperaturas de cada ensayo.

Tabla 10

Tiempos, volumen de aceite y temperatura de extracción

Temp (°C)	Tiempo de extracción (min.)	Volumen (mL)	Volumen total (mL)
20 °C	100	248	248
30 °C	100	287	287
40 °C	100	341	341
50 °C	100	441	441
60 °C	100	470	472
70 °C	100	479	481
80 °C	100	489	489

De acuerdo con los resultados de la Tabla 10, se logra observar que el volumen total de aceite de higuerilla se incrementa conforme se eleva la temperatura de extracción, siendo el volumen mínimo de 248 mL para 20 ºC y el máximo de 489 mL para 80 ºC. Asimismo, se observa que el rendimiento en porcentaje masa/masa tiene una tendencia ascendente. Esto se debe al incremento de temperatura de extracción; así mismo se visualiza que para tiempos mayores de 100 minutos y para todas las temperaturas de extracción, los volúmenes acumulados de aceite se hacen constantes.

De igual manera, en la Tabla 10, se tiene en forma detallada que a 100 minutos de extracción se dan las declinaciones de las curvas de la extracción notándose claramente que los volúmenes de aceite extraídos se hacen constantes; bajo las informaciones descritas experimentalmente, se dice que el tiempo razonable para el proceso de extracción es de 100 minutos, y esto se corrobora aún más con la gráfica de la Figura 7, en donde se observa la declinación de las curvas (isotermas) de extracción en el lapso de 100 minutos.

No obstante, para seleccionar la temperatura de extracción adecuada, se tiene una consideración experimental importante, que es el efecto de borras en el aceite. Luego de 24 horas de almacenado en los frascos de temperaturas de extracción correspondientes a 60, 70 y 80 ºC, se observa que el aceite obtenido presenta borras hasta en un 10 %. Bajo esta consideración, por el trabajo experimental desarrollado, se toma como temperatura de extracción adecuada de 50 ºC porque a esta temperatura de extracción el aceite no contiene borras. Esto se debe, a que con la elevación de temperaturas se coagulan también los cuerpos albuminoides y precipitan los mucilaginosos que están en las células vegetales, formando una especie de emulsión con el aceite denominado borras. Por esta causa, los aceites serán tanto más impuros cuando más se haya calentado la materia prensada.

En conclusión, los parámetros adecuados de extracción son: temperatura de extracción 50 ºC, tiempo de extracción 100 minutos, volumen extraído 441 mL y un rendimiento de 42,35 % masa/masa.

En cuanto a la contrastación, matemáticamente no se efectuó, puesto que no se tienen parámetros estandarizados, debido a que la prensa utilizada en el presente estudio es una prensa artesanal, la cual no podría darnos los parámetros óptimos de extracción.

4.9.5. Caracterización del aceite de higuerilla

4.9.5.1. Propiedades organolépticas

Las propiedades organolépticas resultaron de la intervención directa mediante los sentidos, lo cual se expresa en la tabla 11.

Tabla 11
Propiedades organolépticas

Propiedad organoléptica	Valor
Color	Líquido amarillo pálido
Olor	Débil, característico de la semilla de higuerilla
Sabor	Dulce, seguido de un sabor ligeramente agrio, nauseabundo
Aspecto	Viscoso

4.9.5.2. Propiedades físicas

Otras de las propiedades del aceite de higuerilla, obtenidas del presente estudio de acuerdo con la estimación de 20 ºC, son las propiedades físicas evaluadas, las cuales se especifican en la tabla 12.

Tabla 12
Propiedades físicas

Propiedad física	Valor
Densidad (g/mL)	0,960387
Viscosidad (poise)	7,4667
Punto de ebullición	248-250
Índice de refracción	1,4893
pH	5,50

4.9.5.3. Índices oleaginosos

Por otro lado, se optó por índices oleaginosos, los cuales nos va a permitir establecer la calidad del aceite, considerando el índice de acidez, el índice de yodo y el índice de saponificación. De esta manera, resultó la Tabla 13.

Tabla 13
Índices oleaginosos

Índice oleaginoso	Text = 50 ºC
Índice de acidez (mg KOH/g aceite)	0,5535
Índice de saponificación (mg KOH/g aceite)	167,42
Índice de yodo (mg yodo/100g aceite)	84,8875

De acuerdo con los resultados experimentales de los índices oleaginosos del aceite de higuerilla en la Tabla 14, el índice de acidez es de 0,5535 mg KOH/g aceite, valor que se encuentra dentro del rango reportado por Benavides et al. (2007) en la que reporto un valor de 2,1 mg KOH/g siendo nuestro aceite menos ácido en comparación al aceite de higuerilla colombiano; para el índice de saponificación promedio se tiene que es de 167,42 mg KOH/g, y el índice de yodo de 84,8875 mg yodo/100 g aceite. En ambos casos, sus valores son muy cercanos a lo publicado por Benavides et al. (2007) y muy cercanos a los límites reportados por la norma británica citado por Valderrama et al. (1994).

En conclusión, los valores obtenidos de los índices oleaginosos de nuestro aceite se encuentran dentro de los valores reportados por otros trabajos con aceite de higuerilla.

4.9.6. Cromatografía de gases

Para la determinación de la composición química del aceite de higuerilla (en especial de la composición del ácido ricinoléico), se realizaron ensayos preliminares con estándares de ácidos grasos conocidos, haciendo uso del Cromatógrafo de gases.

Las muestras de aceite de higuerilla, para ser llevadas al análisis de cromatografía de gases, previamente han sido tratadas en el laboratorio de acuerdo con la técnica de preparación de muestras. Las muestras preparadas se disolvieron en n-hexano para ser incorporadas en el cromatógrafo de gases. Para ello, se inyectó muestras líquidas de 1 μL en cada caso.

Los ensayos de cromatografía para cada muestra fueron de 30 minutos, incluyendo el estándar. El reconocimiento de los ácidos grasos se da en función a los tiempos de retención de cada especie. Esta resulta de la comparación entre los tiempos de retención con los ácidos grasos conocidos.

En la Tabla 14, se reportan los tiempos de retención de los ácidos grasos de mayor composición relativa de la muestra representativa de aceite de higuerilla y en la Figura 8 se visualiza el cromatograma de la muestra de aceite de higuerilla.

Tabla 14

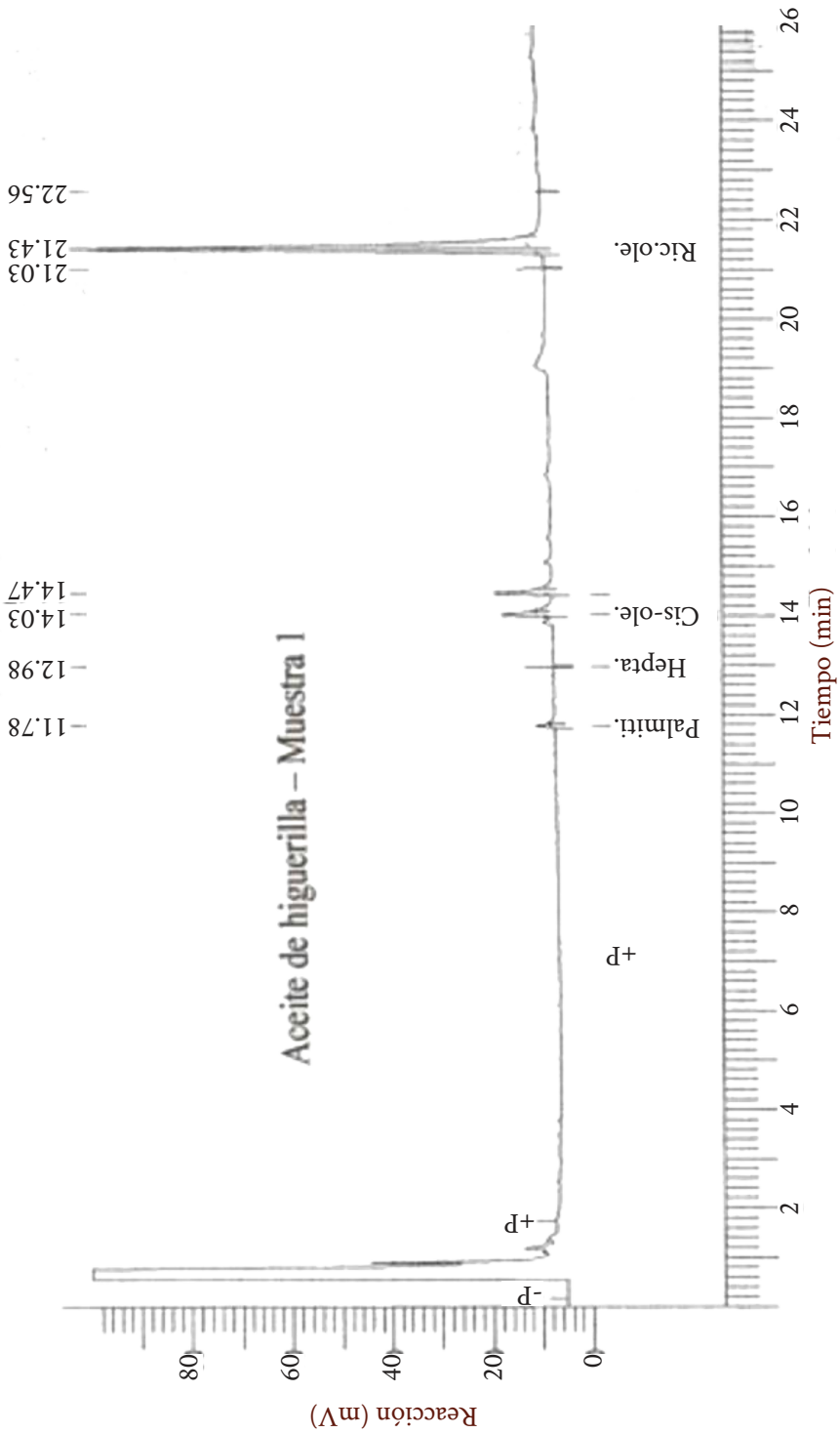
Tiempos de retención y porcentaje de composición de ácidos grasos: muestra de aceite de higuerilla

Componente	t_r (min.)	% Área
Ácido palmítico	11 799	0,82
Ácido cis-oléico	14 031	3,24
Ácido linoleico	14 473	4,99
Ácido ricinoleico	21 467	37,33
	21 483	52,95

De acuerdo con la Tabla 14, el ácido ricinoleico presenta tiempo de retención solapadas de 21 467 y 21 483 minutos con una composición relativa acumulada de 90,28 % en peso. Esta información se corrobora con el cromatograma de la muestra de aceite de higuerilla que se da en la Figura 8, donde se presentan dos picos solapados de muy buena intensidad, con tiempo de retención de 21 467 y 21 483 correspondiendo al 90,28 % de ácido ricinoleico, que comparado con lo reportado por Benavides et al. (2007) su aceite contiene 90 % en peso de ácido ricinoleico.

Figura 8

Cromatograma de la muestra representativa del aceite de higuerilla



Adicionalmente, según la Tabla 14, el aceite de higuerilla obtenido en nuestro laboratorio presenta una composición porcentual significativa de otros ácidos grasos como del ácido palmítico de 0,82 %; de cis-oléico de 3,24 % y del ácido linoléico de 4,99 %; composiciones porcentuales que se encuentran dentro de los rangos más reportados.

En conclusión, el aceite de higuerilla obtenido en el presente estudio se encuentra dentro de los rangos encontrados por otros trabajos desarrollados con aceite de higuerilla.

4.9.7. Elaboración de biodiesel

El proceso de elaboración de biodiesel consistió en dos apartados:

- Determinación de la influencia que presenta la temperatura de la reacción de transesterificación y el porcentaje en peso de la concentración del catalizador (NaHO) en el rendimiento de la elaboración de biodiesel.
- Determinación de las propiedades físicas del biodiesel obtenido, tales como el poder calorífico, la densidad, la viscosidad, y el índice de acidez.

Se seleccionó intencionalmente el método de reacción de transesterificación del aceite con metanol (metanólisis) para la elaboración de biodiesel, utilizando hidróxido de sodio como catalizador. Para la reacción de transesterificación se utilizó un reactor *Batch* de vidrio *Pyrex* acopado con un agitador.

Al reactor se agregó inicialmente el aceite y luego el metóxido, previamente preparado mediante el mezclado del metanol con el hidróxido de sodio. El porcentaje de hidróxido de sodio se fijó en función de la masa de aceite inicial. La reacción se llevó a cabo a presión y temperatura constante durante un lapso de 30 minutos para todos los ensayos.

Como productos de reacción se obtuvieron metilésteres de los ácidos grasos presentes en el aceite de higuerilla (biodiesel) y glicerol. La separación de las fases metilésteres y glicerol se realizó en un embudo y con probetas graduadas de 500 mL.

La fase metiléster, luego de la separación, se sometió a un proceso de lavado utilizando una cantidad de agua igual al volumen de biodiesel producido. Este proceso se realizó en probetas de 500 y 1000 mL. El lavado se realiza las veces que sea necesario hasta que el agua de lavado quede limpia. El secado del biodiesel se realizó por calentamiento, mediante la evaporación de agua en tiempos de 15 minutos.

Para el estudio, y según el método seleccionado, se utilizó como alcohol de transesterificación, al metanol de la marca Aldrich, con una pureza del 99,90 %; y, como catalizador, al hidróxido de sodio al 99,0 % de pureza, de la marca Merck.

Las variables bloqueadas para la reacción de transesterificación en la elaboración de biodiesel son:

- Agitación de la reacción: 120 rpm
- Tiempo de reacción: 30 min
- Relación en masa metanol/aceite: 0,25:1
- Presión: 548 mmHg
- Volumen de aceite en cada ensayo: 100 mL

4.9.8. Diseño experimental para la elaboración de biodiesel

Para el presente estudio se empleó el diseño experimental de diseño factorial 3^2 con dos réplicas. El resultado se dio mediante superficie respuesta, como variable respuesta se seleccionó el rendimiento promedio final de metilésteres (biodiesel), el cual se expresa como la relación entre la

masa de biodiesel purificado obtenido sobre la mesa de aceite de higuerilla original.

El objetivo de esta parte experimental es la optimización de la metanólisis básica del aceite de higuerilla.

Las variables que se analizaron fueron: la concentración en porcentaje de hidróxido de sodio como catalizador, en función del aceite de higuerilla inicial, y la temperatura de reacción. En la Tabla 15, podemos observar los factores y niveles del diseño. Para ello, es necesario enfatizar que el diseño ha sido ejecutado en un solo bloque y el orden de los experimentos se han aleatorizado totalmente, quedando protegido contra los efectos de variables ocultas.

Tabla 15
Niveles de experimentación

Factores	Pequeño	Medio	Grande	Unidades
Concentración	0,45	0,60	0,75	%
Temperatura	20	30	40	ºC

4.9.9. Distribución de los niveles de experimentación

En el diseño experimental se consideraron como factores de diseño: la concentración en porcentaje del catalizador y la temperatura de reacción; de las cuales, las unidades de medida fueron porcentaje en peso (% m/m) para la concentración, y grados centígrados (ºC) para la temperatura. Adicionalmente, la respuesta a considerar es el rendimiento de biodiesel. Se estableció que, para el factor de diseño de concentración en porcentaje en peso, el menor valor fue de 0,45 y el valor máximo fue de 0,75. A la vez, para el factor de temperatura, se estableció un 20 ºC como el valor mínimo, mientras que el 40 ºC fue considerado el valor máximo.

Procesado el programa, se ha obtenido la distribución de los niveles de experimentación de un solo bloque, donde se indican nueve ensayos con dos repeticiones (criterio del investigador) de rendimiento. Los resultados se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16

Distribución de niveles de experimentación

Ensayo	Concentración (%)	Temperatura (ºC)	Rendimiento		
			(%) A	(%) B	(%) Promedio
1	0,75	30	83	87	85
2	0,45	40	69	67	68
3	0,60	40	73	77	75
4	0,60	20	77	79	78
5	0,45	20	77	75	76
6	0,45	30	73	75	74
7	0,60	30	76	78	77
8	0,75	20	81	83	82
9	0,75	40	79	77	78

4.9.10. Análisis por superficie respuesta del diseño para la elaboración de biodiesel

Se realizó el análisis de las variables independientes para poder optimizar las variables de interés. A continuación, se describen los análisis de efectos estimados e interacciones, análisis de varianza (ANOVA), interpretación

de las gráficas de Pareto, los coeficientes y ecuación polinomial de la función. Del mismo modo, se visualiza el diagrama de la superficie respuesta, la gráfica de contornos para obtener el punto óptimo y maximizar la variable de respuesta como es el rendimiento de biodiesel.

4.9.10.1. Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de biodiesel

El ANOVA o análisis de varianza para el rendimiento de biodiesel se detalla en la Tabla 17.

Tabla 17
Análisis de varianza para el rendimiento de biodiesel

Fuente	Suma de cuadrados	GI cuadrado	Cuadrado medio	F-ratio	P-valor
A: Concent. (%)	121,5	1	121,5	36,45	0,0091
B: Temperatura	37,5	1	37,5	11,25	0,0439
AA	0,5	1	0,5	0,15	0,7244
AB	4,0	1	4,0	1,20	0,3534
BB	12,5	1	12,5	3,75	
Error total	10	3	3,3333		
Total (corr.)	186,0	8			

De acuerdo con los datos de ANOVA, descrito en la Tabla 17, se observa la variabilidad en rendimiento en distintas secciones, separados para cada uno de los efectos. En esta oportunidad, se observó que dos de los efectos tienen los p-valores inferiores a 0.05. Ello, indica que son signifi-

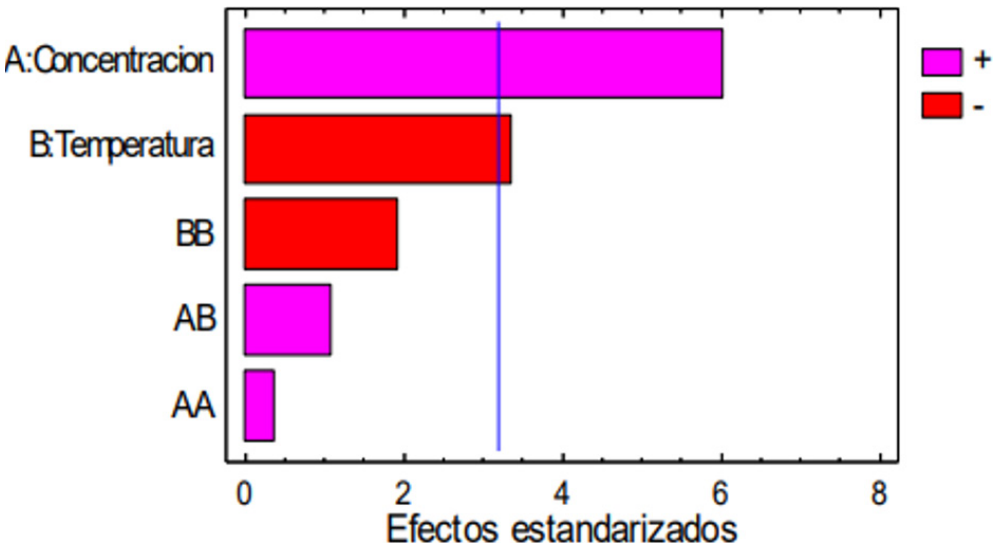
cativamente influyentes respecto a la variable dependiente en un 95,0 % de confiabilidad. En cuanto al estadístico R2, se puede explicar el 94,6237 % de variabilidad en el rendimiento. El estadístico R2 ajustado, el cual es el más adecuado para la comparación de número diferentes de variables independientes, oscila entre un 85,6631 %.

El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos. Ello fue 1,82574. Del mismo modo, para el error absoluto de la media (MAE), se estimó 0,888889 como promedio del valor de los residuos.

El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay cualquier correlación significativa basada en el orden en el que se suceden en el fichero de datos. Puesto que el p - valor es superior a 0.05, se señala que no hay indicios de correlación de serie en los residuos. En la Figura 9, podemos visualizar la carta estandarizada de Pareto para el rendimiento de biodiesel.

Figura 9

Carta estandarizada de Pareto para el rendimiento de biodiesel



Según la carta estandarizada de Pareto para el rendimiento de biodiesel, se confirman los resultados de ANOVA, referente al nivel de significancia de las variables independientes en el rendimiento de biodiesel. Así, se observa que la variable independiente de concentración sobrepasa la línea vertical de significancia, lo cual no presenta interacción con la variable temperatura (no tiene efecto significativo). Por lo tanto, diremos que esta variable tiene un efecto significativo en el rendimiento de biodiesel.

La variable independiente temperatura, presenta un efecto significativo muy bajo. En comparación con la variable concentración, su interacción con la temperatura no presenta significancia en el rendimiento de biodiesel.

Los errores estándares están basados en un error total con 3 g.l. Los efectos de cada una de las interacciones estimadas, se detallan en la Tabla 18.

Tabla 18
Análisis de varianza para el rendimiento de biodiesel

Efecto	Valor	Error
Promedio	78,3333	+/- 1,36083
A: Concentración (%)	9,0	+/- 1,49071
B: Temperatura	-5,0	+/- 1,49071
AA	1,0	+/- 2,58199
AB	2,0	+/- 1,82574
BB	-5,0	+/- 2,58199

En la Tabla 18, se observa el error individual de cada uno de los efectos e interacciones de las variables independientes en el rendimiento del biodiesel, de las cuales el efecto más importante es el de concentración.

4.9.10.2. Coeficientes de regresión para el rendimiento de biodiesel

En la Tabla 19, se detalla la información de los coeficientes de regresión para la variable de respuesta de rendimiento de biodiesel.

Tabla 19

Coeficientes de regresión para el rendimiento de biodiesel

Coeficientes	Valor
Constante	65,3333
A: Concentración (%)	16,6667
B: Temperatura	0,85
AA	22,2222
AB	0,666667
BB	-0,025

Los datos del diseño experimental se ajustaron al siguiente modelo de regresión:

$$y = 65,33 - 16,67x_1 + 0,85x_2 + 22,22x_1^2 + 0,67\ x_1x_2 - 0,\ 025x_2^2.$$

Donde:

y: rendimiento de biodiesel

x1: concentración

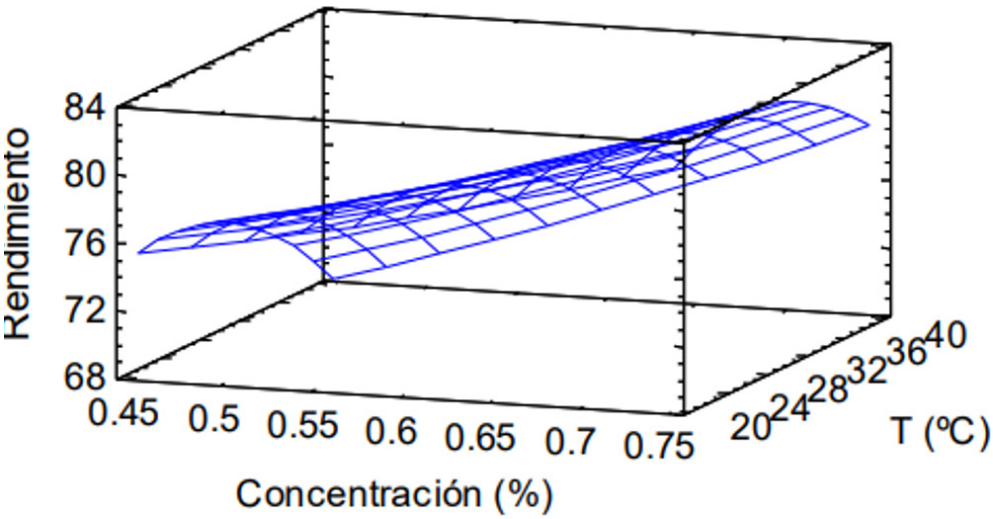
x2: temperatura

El estadístico R^2 ajustado asociado al modelo de regresión polinomial es de 85.6631 %. Ello, significa que la concentración de hidróxido de sodio, temperatura y sus interacciones de las variables mencionadas, explican en un 85.67 % el rendimiento de biodiesel. De igual forma, se tiene que el coeficiente de 65,33 es el rendimiento promedio de biodiesel en condiciones normales. El coeficiente de 16,67 señala que, por cada unidad porcentual de hidróxido de sodio, el rendimiento de biodiesel disminuye en 16,67, permaneciendo constante los otros parámetros. Asimismo, se tiene el coeficiente 0,85, lo cual indica que, por cada grado centígrado de temperatura, el rendimiento de biodiesel se incrementa en 0,85 unidades de rendimiento. El coeficiente cuadrático de concentración de hidróxido de sodio y temperatura, aportan por cada unidad de esta combinación 0,67 en el rendimiento de biodiesel. Finalmente, se tiene el coeficiente del término cuadrático de temperatura que disminuye por cada unidad en el rendimiento de biodiesel en 0,025.

4.9.10.3. Superficie de respuesta para la maximización del rendimiento de biodiesel

Figura 10

Diagrama de superficie de respuesta para el rendimiento de biodiesel



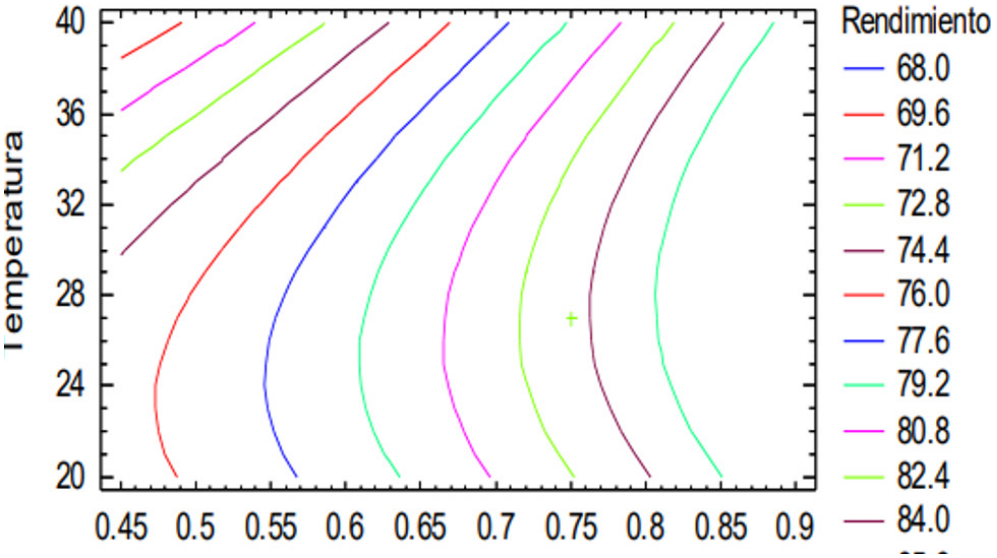
De manera tridimensional, el máximo rendimiento de biodiesel puede distinguirse desde la Figura 10.

La Figura 10, evidencia, desde lo tridimensional, la distribución del rendimiento de biodiesel en función de los niveles de concentración y los niveles de temperatura, en cuyas coordenadas se pueden observar que el máximo rendimiento de biodiesel es de 84 % para 0,75 % de nivel de concentración y 27 ºC de temperatura.

De igual manera, en la Figura 11, se visualiza la gráfica de contornos. Ello, nos permite distinguir el punto en el que se maximiza el rendimiento de biodiesel. Asimismo, en la Tabla 21, se detallan los valores de la respuesta optimizada para el rendimiento de biodiesel.

Figura 11

Gráfica de contornos para el rendimiento de biodiesel



En la Figura 11, se muestra la gráfica de contornos, evidenciando el punto que maximiza el rendimiento de biodiesel. Alcanzando 77 unidades aproximadamente para un nivel de concentración de peso de hidróxido de sodio de 0,75 % y 27 ºC de temperatura de reacción de transesterificación.

Tabla 20

Respuesta optimizada para el rendimiento de biodiesel

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
Concentración (%)	0,45	0,75	0,75
Temperatura	20,0	40,0	27,00

En la Tabla 20, se muestra con precisión la combinación de niveles de los factores que maximizan el rendimiento por encima de la región indicada. Los valores óptimos del rendimiento de biodiesel son de 0,75 % en peso para la concentración de hidróxido de sodio respecto a la masa inicial de aceite de higuerilla y 27 ºC de temperatura de reacción de transesterificación.

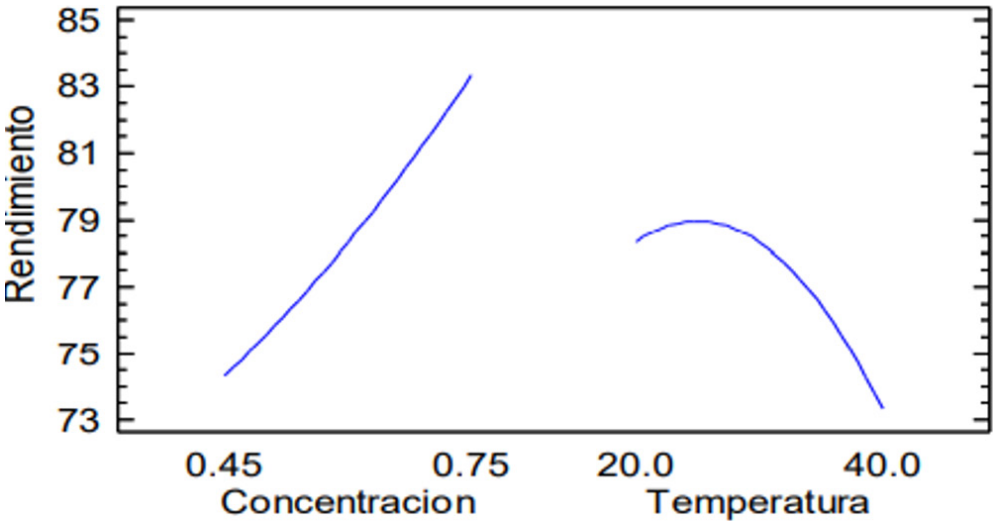
4.9.10. Análisis de efectos estimados e interacciones

4.9.10.1. Efectos principales de la concentración y temperatura

En la Figura 12, se ha representado el efecto de las variables independientes: concentración porcentual del peso de hidróxido de sodio en función de la masa inicial de aceite de higuerilla y la temperatura de reacción de transesterificación en el rendimiento de biodiesel.

Figura 12

Efectos principales de concentración y temperatura en el rendimiento de biodiesel



El comportamiento del rendimiento de biodiesel tomó la forma de una recta oblicua con pendiente positiva; es decir, a medida que se incrementa el nivel de concentración porcentual del peso de hidróxido de sodio, se incrementa el rendimiento de biodiesel. Las coordenadas especifican que para 0.75 % de concentración de hidróxido de sodio, se alcanza un rendimiento de biodiesel de 83.5 unidades. En cuanto al efecto temperatura, se observa que inicialmente existe un incremento de rendimiento en temperaturas que varía de 20 a 30 ºC, Asimismo, se observa que alcanza su temperatura máxima en 30 ºC y, en este nivel de temperatura, se tiene un rendimiento de biodiesel de 79 unidades y luego empieza a disminuir considerablemente.

4.9.10.1.1. Contrastación

Para la contrastación de esta hipótesis de la influencia del porcentaje en peso de la concentración de NaOH como catalizador y la tempera-

tura, se tomó como referencia la Tabla 18 del Análisis de varianza para el rendimiento de biodiesel descrito anteriormente.

Conforme a la mencionada tabla, se observa en el Análisis de varianza, donde están los efectos principales, cómo la concentración de hidróxido de sodio y la temperatura de reacción de transesterificación, influyen significativamente en el rendimiento de biodiesel, pues ambos factores asocian al estadístico de prueba F – ratio y un p – valor menor a 0,05. Lo cual significa –con un 95 % de confianza– que, al menos, un par de niveles de la concentración de hidróxido de sodio, como los niveles de temperatura de reacción, son diferentes.

Por tanto, realizando un análisis conjunto de la información precedente en los cuadros y gráficos, el rendimiento de biodiesel varía como consecuencia de la diferencia que existe entre los niveles de la temperatura de reacción de transesterificación y la concentración del catalizador. Asimismo, se infiere del gráfico de superficie de respuesta que el rendimiento óptimo de biodiesel es de 84 unidades para el nivel de 0,75 % de concentración de hidróxido de sodio y a una temperatura de reacción de 27 ºC.

El resultado obtenido en el presente estudio se corrobora con el trabajo de investigación presentado por Benavides et al. (2007) acerca de la elaboración de biodiesel con aceite de higuerilla mediante la transesterificación con metanol, donde se concluye que las variables influyentes son la calidad de la materia prima, el tipo y cantidad de catalizador, el tipo de alcohol, y las condiciones de reacción como temperatura; siendo estas las mejores condiciones que permitirán obtener los mayores rendimientos de biodiesel de aceite de higuerilla. Es decir, mediante metanólisis básica a temperatura ambiente (25 ºC) y un porcentaje de 0,80 en peso de hidróxido de sodio como catalizador y con rendimientos cercanos al 90 % de biodiesel. Por lo que en nuestro estudio se corrobora que las variables influyentes son la concentración en porcentaje en peso del catalizador y la temperatura de reacción.

4.9.10.2. Caracterización parcial de biodiesel

La caracterización de una sustancia es importante, pues nos faculta identificar la calidad del producto. Generalmente, se pueden comparar con productos estándares, normalizados o establecidos por la literatura para cada sustancia.

Tabla 21

Resultados de la caracterización parcial del biodiesel

Muestra	pH	Densidad (Kg/m³)	Viscosidad (cStoke)	Poder calorífico (KJ/Kg)	Índice de acidez (mg KOH/g aceite)
1	6.5	927,94	15,26	36,35	0,283
2		928,08	15,15	36,33	0,294
3		927,96	15,06	35,38	0,283
4		927,52	15,12	36,42	0,284
5		927,64	15,16	36,37	0,286
6		927,82	15,10	36,28	0,285
7		927,73	15,22	36,31	0,283
8		927,86	15,14	36,25	0,286
9		927,83	15,11	36,34	0,287
Óptima	6,5	927,84	15,08	36,36	0,286

En este estudio, se estima una caracterización parcial del biodiesel. Se consideraron las siguientes características representadas en la Tabla 21:

- pH
- Poder calorífico (KJ/Kg)
- Densidad (Kg/m3)
- Viscosidad (cStoke)
- Índice de acidez (mg KOH/g aceite)

4.9.10.2.1. Contrastación

La contrastación de la caracterización parcial del biodiesel, a partir del aceite de higuerilla de la región de Ayacucho, se realiza comparándola con trabajos de investigación desarrollados sobre la obtención de biodiesel puro desde el inicio del aceite de higuerilla (denominado como B100). Asimismo, tal comparación se contrasta con los resultados del biodiesel obtenido con las condiciones óptimas del presente estudio. Adicionalmente, para la contrastación de la caracterización parcial del biodiesel obtenido, haremos uso del t-Student:

a) Densidad

H_0: La media poblacional de la densidad es de 927,84 Kg/m^3

H_a: La media poblacional de la densidad es diferente a 927,84 Kg/m^3

Las Tablas 22 y 23, presentan los estadígrafos calculados en función a los datos muestrales para corroborar las hipótesis en cuanto a la densidad.

Tabla 22

Datos Estadísticos (A) para la densidad

	N	Media	Desviación típica	Error típico de la media
Densidad	9	927,8200	0,17095	0,05698

Tabla 23

Datos Estadísticos (B) para la densidad

	Valor de Prueba (Test Value) = 927.84 Kg/m³					
	T	GI	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95 % Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Densidad	-0,351	8	0,735	-0,02000	-0,1514	0,1114

Conclusión (Densidad)

El estadístico de prueba t-Student es de -0,351 y asocia un p - valor de 0,735 que es mayor al nivel de significancia de 0,05, lo cual significa que la verdadera media poblacional de la densidad es de 927,84 con una confianza del 95 %. Del mismo modo, se observa que la desviación estándar promedio de las muestras de la densidad es de 0,171, la cual es relativamente pequeña. Lo que demuestra que las mediciones de la densidad están concentradas alrededor del promedio de 927,82. Es decir, las muestras tienen un comportamiento homogéneo o las muestras son estadísticamente iguales.

Por otro lado, el valor promedio de la densidad del biodiesel en nuestro estudio es de 927,82 Kg/m³, valor muy cercano a 926,05 Kg/m³ determinado por Benavides (2007) en su trabajo de investigación sobre la elabo-

ración de biodiesel a partir del aceite de higuerilla, por lo que se concluye que los valores de densidad obtenidas en nuestro estudio son aceptables.

b) Poder calorífico

H_0: La media poblacional del poder calorífico es de 36,36 KJ/Kg

H_a: La media poblacional del poder calorífico es diferente a 36,36 KJ/Kg

Las Tablas 24 y 25, presentan los estadígrafos calculados en función a los datos muestrales para corroborar las hipótesis en cuanto al poder calorífico.

Tabla 24
Datos Estadísticos (A) para el poder calorífico

	N	Media	Desviación típica	Error típico de la media
PC	9	36,2256	0,32090	0,10697

Tabla 25
Datos Estadísticos (B) para el poder calorífico

	Valor de Prueba (Test Value) = 36,36 KJ/Kg					
	T	GI	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95 % Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
PC	-1,257	8	0,244	-0,13444	-0,3811	0,1122

Conclusión (poder calórico)

El estadístico o de prueba t-Student es de -1,257 y asocia un p - valor de 0,244 que es mayor al nivel de significancia de 0,05, lo cual significa que la verdadera media poblacional del poder calorífico es de 36,36 KJ/Kg con una confianza del 95 %. Igualmente, se observa que la desviación estándar promedio de las muestras del poder calorífico es de 0,321, la cual es relativamente pequeña. Lo que demuestra que las mediciones del poder calorífico están concentradas alrededor del promedio de 36,23. Es decir, las muestras tienen un comportamiento homogéneo o las muestras son estadísticamente iguales.

Adicionalmente, el valor promedio del poder calorífico calculado en la investigación es de 36,23 KJ/Kg, que comparado con 37,52 KJ/Kg es reportado por Benavides (2007), y presenta una variación de 3,41 %.

c) Viscosidad

H_0: La media poblacional de la viscosidad es de 15,14 cStoke

H_a: La media poblacional de la viscosidad es diferente de 15,14 cStoke

Las Tablas 26 y 27, presentan los estadígrafos calculados en función a los datos muestrales para corroborar las hipótesis en cuanto a la viscosidad.

Tabla 26

Datos Estadísticos (A) para la viscosidad

	N	Media	Desviación típica	Error típico de la media
Viscosidad	9	15,1467	0,06144	0,02048

Tabla 27
Datos Estadísticos (B) para la viscosidad

	Valor de Prueba (Test Value) = 15,14 cStoke					
	T	GI	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95 % Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Viscosidad	0,326	8	0,753	0,00667	-0,0406	0,0539

Conclusión (viscosidad)

El estadístico de prueba t-Student es de 0,326 y asocia un p - valor de 0,753 que es mayor que el nivel de significancia de 0,05, lo que significa que la verdadera media poblacional de la viscosidad es de 15,24 cStoke con una confianza del 95 %. Asimismo, se observa que la desviación estándar promedio de las muestras de la viscosidad es de 0,061, la cual es relativamente pequeña. Lo que demuestra que las mediciones de la viscosidad están concentradas alrededor del promedio de 15,1467. Es decir, las muestras tienen un comportamiento homogéneo o las muestras son estadísticamente iguales.

La viscosidad promedio del biodiesel en nuestro estudio es de 15,14 cStoke, valor muy cercano a lo reportado por Benavides (2007) sobre la elaboración de biodiesel con aceite de higuerilla, siendo la viscosidad cinemática de 14,89 cStoke, corroborándose que el biodiesel obtenido en el presente estudio tiene presenta una viscosidad muy cercana a lo reportado por Benavides (2007).

d) Índice de acidez

H_0: La media poblacional para el índice de acidez es de 0,286 mg KOH/g aceite.

H_a: La media poblacional para el índice de acidez es diferente de 0,286 mg KOH/g aceite.

Las Tablas 28 y 29, presentan los estadígrafos calculados en función a los datos muestrales para corroborar las hipótesis en cuanto al índice de acidez.

Tabla 28

Datos Estadísticos (A) para el índice de acidez

	N	Media	Desviación típica	Error típico de la media
IA	9	0,28567	0,003464	0,001155

Tabla 29

Datos Estadísticos (B) para el índice de acidez

	Valor de Prueba (Test Value) = 0,286 mg KOH/g aceite					
	T	GI	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95 % Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
IA	-0,289	8	0,780	-0,000333	-0,00300	0,00233

Conclusión (índice de acidez)

El estadístico de prueba t-Student es de -0,289 y asocia un p - valor de 0,780 que es mayor que el nivel de significancia de 0,05, lo que significa que la verdadera media poblacional del índice de acidez es de 0,286 con una confianza del 95 %. Igualmente, se observa que la desviación estándar promedio de las muestras del índice de acidez es de 0,003464, la cual es relativamente pequeña. Lo que demuestra que las mediciones del índice de acidez están concentradas alrededor del promedio de 0,28567. Es decir, las muestras tienen un comportamiento homogéneo o las muestras son estadísticamente iguales.

El índice de acidez del biodiesel en nuestro estudio es de 0,2857 mg KOH/g aceite, valor que se encuentra dentro del rango establecido para biodiesel por la Asociación Americana de Ensayos de Materiales, donde el máximo es de 0,50 mg KOH/g aceite.

4.10 Conclusiones

- Se obtuvo aceite a partir de las semillas de higuerilla mediante extracción mecánica y se elaboró biodiesel en la región de Ayacucho.
- Se determinaron los parámetros adecuados de extracción de aceite a partir de las semillas de higuerilla, tales como temperatura de extracción 50 ºC y tiempo de extracción 100 minutos; el volumen de aceite extraído promedio fue de 441 mL con un rendimiento de 42,35 % en peso.
- Se determinaron los índices oleaginosos promedio del aceite de higuerilla, para el índice de acidez: 0,5535 mg KOH/g; para el índice de saponificación promedio: 167,42 mg KOH/g; para el índice de yodo: 84,8875 mg yodo/100 g aceite; y, finalmente, para la cromatografía de gases, se encontró que la composición relativa porcentual en peso de ácido ricinoleico en el aceite de higuerilla es de 90,28 %.

- Se comprobó que mediante el diseño factorial, en referencia al análisis de varianza, se probó con un 5 % de significancia ($\alpha = 0.05$) en la que se determinó la influencia de la concentración del catalizador y la temperatura en el rendimiento de biodiesel, siendo las condiciones óptimas: 0,75 % en peso de la concentración de NaOH y 27 ºC de temperatura de reacción de transesterificación y 84 % de rendimiento de biodiesel.

- Las pruebas realizadas para la caracterización parcial del biodiesel (B100), se determinaron con un 5 % de significancia, encontrándose valores de 927,822 Kg/m^3 para la densidad; 36,2390 KJ/Kg para el poder calorífico; 15,14 cStoke para la viscosidad; y, de 0,2857 mg KOH/g aceite para el índice de acidez. La verificación de los resultados obtenidos se logró mediante el T-Student, siendo la desviación estándar promedio de las muestras muy pequeñas. Lo que demostró que las mediciones de las muestras realizadas tienen un comportamiento homogéneo o que las muestras son estadísticamente iguales.

4.11. Recomendaciones

- Los frutos de higuerilla se deben secar al medioambiente hasta un contenido de 5 a 6 % en peso de humedad.

- Para determinar los parámetros óptimos del proceso de extracción de aceite de higuerilla para la elaboración de biodiesel, se recomienda utilizar prensas hidráulicas con manómetros y chaquetas de calentamiento incorporados para definir acertadamente la presión y la temperatura de extracción.

- Es necesario utilizar algunas otras técnicas estandarizadas para la determinación de las propiedades oleaginosas del aceite de higuerilla (normas británicas, alemanas, entre otras), como parte de la caracterización del aceite en la elaboración de biodiesel.

- Se recomienda ampliar el diseño factorial en la etapa de la elaboración de biodiesel, con valores más altos de porcentaje en peso de la concentración de catalizador y temperaturas. Igualmente, ampliar alguna

variable independiente como es la relación molar metanol/aceite para evaluar la influencia en el rendimiento de biodiesel.

- Ampliar la caracterización física y química del biodiesel producido, así como su evaluación mecánica con motores diésel.

CAPÍTULO V

CONSIDERACIONES FINALES: EL Biodiesel A PARTIR DEL ACEITE DE HIGUERILLA COMO UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE

Los criterios de sostenibilidad para el medioambiente, la creciente demanda de energía, el agotamiento de los recursos energéticos convencionales (seguido de la degradación ambiental a causa de los cambios climáticos constantes y abruptos), han desplazado la atención de los científicos hacia la búsqueda de fuentes o recursos renovables de energía verde y limpia para un desarrollo sostenible. La bioenergía, obtenida a partir de materia orgánica, productos comerciales, industriales o agrícolas (Adipah, 2018), es considerada una excelente alternativa debido a que se puede aplicar para varios requisitos de energía después de utilizar una metodología de conversión adecuada. Por lo tanto, hacemos referencia a todos los aspectos relacionados con los biocombustibles.

Es por ello que, a los biocombustibles, se le consideran fuentes de energía con un enorme potencial en la resolución de problemas relacionados con los cambios climáticos y con la sostenibilidad del medioambiente. Estos biocombustibles son combustibles renovables producidos a partir de la biomasa (Campos et al., 2020), es decir, material vegetal de algas, incluso

de desecho animal. Estos tipos de biocombustibles representan una de las opciones más tomadas en lo concerniente a la reducción de emisiones de CO2 como destructor de la capa de ozono, lo cual es determinado como contaminante. Desde ese punto de vista, los biocombustibles como energía alternativa resultan claramente ventajosos (Parra, 2016).

Partiendo de esa idea, diremos que los biocombustibles son una fuente de energía renovable que, a diferencia de los combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural, pueden reponerse fácilmente. Por lo tanto, los biocombustibles se definen como una alternativa rentable benigna para el medioambiente. Sin embargo, los beneficios para el ambiente, dependerá de cómo estos serán fabricados, puesto que existe la posibilidad de que haya inconvenientes, lo cual resultaría perjudicial para dicho medio y sus habitantes.

Mientras que las reservas de petróleo se están agotando en todo el mundo, el biodiesel ha ido evolucionando y se estima que está cumpliendo un rol importante gracias a las propiedades y compatibilidad con el combustible tradicional. El biodiesel es comúnmente elaborado a partir de distintas materias primas y, específicamente, de aceites vegetales. Por consiguiente, se hace mención a que potencialmente es un recurso que reduce los niveles de contaminación, lo cual resulta muy ecológico. Es por esta razón que, el biodiesel se convierte en uno de los biocombustibles más utilizados como sustituto del reconocido diésel elaborado a base de petróleo (Keera et al., 2018; Sánchez, et al., 2017).

El biodiesel, considerado como el segundo biocombustible líquido ecológico más común, es elaborado a partir de plantas o semillas oleaginosas y de fuentes con ciertos niveles de aceite (aceitosas). En la misma línea, se enfatiza que tal biocombustible no solo reduce los gases de efecto invernadero, sino que, además, como recurso sostenible, sirve como una opción ecológica para los usuarios del diésel tras ser utilizado en motores sin presentar inconvenientes.

El biodiesel, en suma, se define como una fuente alternativa de combustible diésel. Este biocombustible puede elaborarse si se tiene como base una amplia gama de bioespecies renovables, tales como cultivos de caña de azúcar, cereales, entre otros. Además, este biocombustible puede producirse desde ciertas especies acuosas como el jacinto de agua, las algas, y otros más. Como consecuencia de la limitada disposición de combustibles fósiles, es que se le otorga una mayor preocupación respecto a la seguridad energética. De esta manera, es que se ha interesado por generar cambios, es decir, visionarse al empleo de fuentes renovables, puesto que muchos estudios apuntan a que los biocombustibles resaltan su mayor eficacia frente al desaforado uso de los combustibles tradicionales (Sreenath y Pai, 2018).

Siguiendo a Adipah (2018), las ventajas que podemos destacar del biodiesel, giran en torno a los siguientes aspectos:

- Es una fuente renovable. En vista de que sus recursos pueden ser cultivados nuevamente y, de esta manera, es que se reproducen y se reutilizan como tal.
- Es económico. En comparación con el diésel derivado del petróleo, el biodiesel es menos costoso. Ello es aprovechado por la sociedad, pues es visto como un suceso de ahorro.
- Apoya al sector agrícola. Así, los ingresos económicos de este grupo social se incrementan gracias a los cultivos de producción.
- Es el combustible alternativo perfecto. Es menos contaminante, pues para los medios vehiculares, los cuales optan por el gas natural, etanol u otro, el uso de biodiesel ocasiona menos roturas y desgaste para el motor de los mismos.

La fabricación de biocombustibles a partir de ciertas especies de cultivos, se ha convertido en uno de los mejores métodos capaz de prevenir la crisis energética. Asimismo, se estima que la producción de biocombustibles, mediante un método adecuado, puede disminuir la dependencia de los

combustibles fósiles y, a la vez, reducir paulatina y considerablemente la cantidad de emisiones contaminantes perjudiciales para el ambiente y la comunidad (Sreenath y Pai, 2018).

El ricino o planta de higuerilla (*Ricinus communis L.*) se ha empleado durante mucho tiempo como cultivo industrial de semillas oleaginosas gracias a su alto contenido de aceite que proviene de la semilla, su composición única de ácidos grasos, su lubricidad y su excelente capacidad de adaptación y crecimiento bajo diferentes condiciones ambientales, climáticas y suelos. Esta característica mantiene relación directa con el aprovechamiento de la tierra para cultivar productos que son destinados al consumo humano (Osorio et al., 2020).

Se debe considerar que las semillas contienen un aproximado de 50 % de aceite y tienen un rendimiento que oscila entre los 470 kg de aceite por hectárea. Asimismo, se añade que la producción de aceite de ricino, a nivel mundial, es de 1,99 x 106 t (producción media anual), donde África es vista como el principal productor de semillas de aceite de ricino con 90,3 $\times 10^3$ t al año. Ello refleja el 4,5 % de la producción mundial (Mensah et al., 2018). Es decir, desde una visión mundial, la mayor cantidad de países africanos se apoderan de estos cultivos. Supone, por lo tanto, que el origen de estas semillas se conserva gracias a la alta producción de estas.

Es visto, entonces, que los aceites vegetales puros son una de las alternativas potenciales capaces de alcanzar una transición energética sostenible altamente viable, pues pueden obtenerse de fuentes vegetales vivas, lo cual contribuye a su transformación en biocombustibles renovables y sumamente accesibles (Aguado, et al., 2020). Asimismo, existe una variedad de métodos en donde se pueden conseguir este biocombustible sobre la base de dichos aceites. En relación con eso, el biodiesel a partir del aceite de ricino nos provee múltiples beneficios que son aprovechados por el medioambiente y por las industrias técnicas. Por ende, es considerado como una de las alternativas viables a largo plazo.

El biodiesel, desde el aceite de ricino, contiene una buena cantidad de ventajas si lo comparamos con el diésel convencional, puesto que resalta por ser biodegradable, renovable, menos tóxico, reduce los niveles de emisión por gases de efecto invernadero y, durante el proceso de combustión, disminuye los hidrocarburos aromáticos y no quemados. No obstante, se debe considerar que una de las desventajas del manejo de este tipo de biocombustible se relaciona con los altos índices de viscosidad, pues cuando estos niveles se incrementan, el flujo de biodiesel, en función al filtro de combustible, se dispone a disminuir con el transcurrir tiempo (Osorio et al., 2020).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adipah, S. (2018). Introduction of Biodiesel as a Sustainable Resource. *Journal of Environmental Science and Public Health 3*, 99-103. https://bit.ly/38PlZn2

Aguado, L., Hidalgo, J., Bautista, F., Luna, D., Luna, C., Calero, J., Posadillo, A., Romero, A. y Estevez, R. (2020). Acetone Prospect as an Additive to Allow the Use of Castor and Sunflower Oils as Drop-In Biofuels in Diesel/Acetone/Vegetable Oil Triple Blends for Application en *Diesel Engines. Molecules, 25*(12). https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7356534/

Ali, M. & Jamshed, S. (2020). Rendimiento del motor y análisis de emisiones utilizando biodiesel de neem y jatropha. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida, 32*(2), 19- 29. https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.02

Álvarez, D. (2019). *Utilización del aceite Ricinus Communis (Higuerilla) para la obtención de biodiesel, un co-producto y su simulación en el software Aspen Hysys* [trabajo de titulación, Universidad Autónoma de Bucaramanga]. Repositorio institucional UNAB. http://hdl.handle.net/20.500.12749/7050

Andrade-Durán, J., Castillo-Tellez, M., Ovando-Sierra, J. y Castillo-Tellez, B. (2016). Purificación de biodiesel con agua y silicato de magnesio. *Revista de Sistemas Experimentales, 3*(9), 78-87. https://bit.ly/3DTljeG

Badii, M., Guillén, A., y Abreu, J. (2016). Energías renovables y conservación de energía. *Daena: International Journal of Good Conscience, 11*(1), 141-155. http://www.spentamexico.org/v11-n1/A12.11(1)141-155.pdf

Ballesteros, M. (2018). El papel de la bioenergía en la nueva bioeconomía. *Mediterráneo Económico. 3*1, 353-369. https://cutt.ly/zWA4bFd

Barrera, C., Betoret, N., Casteló, M., y Pérez, E. (2018). *Principios básicos de la combustión.* España: Universitat Politècnica de València. https://cutt.ly/xWP822E

Belesansky, C., Gutierrez, N. y Sandoval, M. (2021). Efecto de extractos de ricino (*Ricinus communis L.*) y de *Trichoderma harzianum Rifai* sobre el crecimiento y desarrollo de *Botrytis cinerea Whetzel* y *Penicillium* Link, patógenos del cultivo de frutilla (*Fragaria x ananassa Duch.*). *Revista Científica y Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental, 8*(1). https://bit.ly/3jQaRws

Benavides, A., Benjumea, P. y Pashova, V. (2007). El Biodiesel de Aceite de Higuerilla como Combustible Alternativo para Motores Diésel. *Dyna, 74*(153), 141-150. http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v74n153/a16v74n153.pdf

Betancourt, C., de Mello, R., Castellanos, L. y Silva, C. (2016). Características de la glicerina generada en la producción de biodiesel, aplicaciones generales y su uso en el suelo. *Cultivos Tropicales, 37*(3), 7-14. http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4329.2403

Britton-Acevedo, E., Vega-Jurado, J. y Lombana, J. (2017). Alternativas productivas para la industria de biodiesel en Colombia. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración, 13*(24), 135-148. https://www.redalyc.org/pdf/4096/409653240009.pdf

Cabello, C., Rincón, S. y Zepeda, A. (2017). Catalizadores heterogéneos utilizados para la obtención de biodiesel. *Afinidad, 74*(577), 51-59. https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/320756

Cabrales, R., Marrugo, J. y Abril, J. (2014). *Rendimientos en semilla y calidad de los aceites del cultivo de higuerilla (Ricinus Communis L.) En el Valle del Sinú, departamento de Córdoba*. Fondo Editorial Universidad de Córdoba. https://bit.ly/3jvd8gp

Campos, J., Chica, A., Domine, M., García, T., Pawelec, B., Pinilla, J., Rojas, S., Serra, J. y Suelves, I. (2020). Biocombustibles. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, (58), 38-44. https://bit.ly/38OTJku

Castañeda, K. y Contreras, T. (2017). *Diseño del proceso de extracción de aceite de higuerilla en La Palma (Cundinamarca)* [Trabajo de grado, Universidad EAFIT]. Repositorio institucional EAFIT. http://hdl.handle.net/10784/12261

Castillo, O., Torres, S., Núñez, C., Peña, V., Herrera, C. y Rodríguez, J. (2017). Producción de biodiesel a partir de microalgas: avances y perspectivas biotecnológicas. *Hidrobiológica, 27*(3), 337- 352. https://bit.ly/3kY7cMJ

Cortés-Sánchez, M., Gata-Montero, E., Pipió-Ternero, A., Rodríguez-Rivas, A. y Sánchez-Santos, J. (2019). Biocombustibles: tipos y estrategias de producción. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, (35). https://bit.ly/3haNKLp

Cuty, E. y Mejía, A. (2019). Influencia del biodiesel de aceite de fritura usado, sobre las emisiones: índice de opacidad. *Tecnura, 23*(59), 60-67. https://doi.org/10.14483/22487638.13722

Dammert, A., y García, R. (2017). *Economía de la energía*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Espín, P. (2016). *Estudio de factibilidad para la implementación de biodiesel en las estaciones de servicio de la ciudad de Ibarra* [trabajo de titulación, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio digital UTN. https://bit.ly/3jLJLqv

García, E., Cedillo, I., Gómez, A., Hernández, I., Amante, A. y Rössel, E. (2018). Recolecta, establecimiento y caracterización de semilla de higuerilla (Ricinus communis L.) en el altiplano centro-norte de México. *Agro Productividad, 12*(3), 89-96. https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1126

Golden, J. (2017). La industria de los bioproductos. *Revista Palmas, 37*, 275-282. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11947

Goñas, K. y Bernal, W. (2019). Caracterización químico nutricional de tres semillas de oleaginosas disponibles en la región Amazonas. *Revista de Investigación Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería, 2*(3), 24-28. https://bit.ly/3h7hx7K

Goñi, J., y Rojas, M. (2016). *Manual de combustibles alternativos y tecnología automotriz*. Universidad de Lima Fondo Editorial. https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/10780?show=full

González, A. (2018). *Caracterización fisicoquímica de biodiesel de aceite de higuerilla producido a partir de catálisis enzimática con lipasas de Ricinus communis L.* [tesis de titulación, Instituto Politécnico Nacional]. https://bit.ly/3jQMMpi

Gutiérrez, N., Ramos, E., Serafín, A., Dimas, A., Ruiz, A. & Reyes, X. (2020). Optimización de la producción de biodiesel de alta pureza empleando un reactor ultrasónico. *Jóvenes en la Ciencia, 8*. https://bit.ly/3kYmhhm

Ismail, S., Ahmed, A., Anr, R. & Hamdan, S. (2016). Biodiesel Production from Castor Oil by Using Calcium Oxide Derived from Mud Clam Shell. *Journal of Renewable Energy*, 1-8. http://dx.doi.org/10.1155/2016/5274917

Keera, S., El Sabagh, S. & Taman, A. (2018). Castor oil biodiesel production and optimization. *Egyptian Journal of Petroleum, 27*(4), 979-984. https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.02.007

León, J., Abreu, L., Matiauda, M. y Miño, J. (2016). Diseño de una planta de obtención de Biodiesel a partir de un residual de la industria azucarera (cachaza). *Centro Azúcar, 43*(1), 1- 9. https://bit.ly/2WUDdgc

Llanes, E., Rocha, J., Salazar, P. y Medrano, J. (2017). Producción e impacto del biodiesel: una revisión. *Innova Research Journal, 2*(7), 59-76. https://doi.org/10.33890/innova.v2.n7.2017.229

Mafla, C., Imbaquingo, R., Melo, J., Benavidez, I. y Hernández, E. (2018). Cuantificación de la opacidad en motores electrónicos diésel usando diésel y biodiesel. *Ingenius*, (19), 102- 1147. https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.10

Matailo, E. (2021). *Caracterización morfológica de la colección nacional de higuerilla (Ricinus communis L.) de la Universidad Central del Ecuador, en el CADET* [trabajo de titulación, Universidad Central del Ecuador] Repositorio digital UCE. http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/23021

Mejía, S. (2017). *El camino, descubriendo su flora*. Editorial Ver de Cerca. https://bit.ly/3gL5JIc

Mensah, M., Awudza, J. & O'Brien, P. (2018). Castor oil: a suitable green source of capping agent for nanoparticle syntheses and facile surface functionalization. *Royal Society open science, 5*, 1-19. https://bit.ly/3jNsL38

Mobofu, E (2016). Castor oil as a potential renewable resource for the production of functional materials. *Sustain Chem Process 4*, (11). https://doi.org/10.1186/s40508-016-0055-8

Mongiello, C. (2015). Ricino. *Revista Boletín Biológica, 9*(34), 40-46. https://bit.ly/2WY0o9f

Montero, G., Jaramillo, B., Vázquez, A., Coronado, M., García, C. y Toscano, L. (2016). Experiencias de aprovechamiento de residuos para la generación de biodiesel en Colombia y México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 32*, 77-90. https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.06

Morelos, J. (2016). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. *Estudios Gerenciales. 32* (139), 120–126. https://cutt.ly/xWY5GZc

Ortiz, M., García, P., Lagunes, L., Arregoitia, M., García, R. y León, M. (2016). Obtención de biodiesel a partir de aceite crudo de palma (*Elaeis guineensis Jacq.*). Aplicación del método de ruta ascendente. *Acta Universitaria, 26*(5), 3-10. https://doi.org/10.15174/au.2016.910

Osorio, C., Gómez, N., Sandoval, F., Saini, R., Brar, S. y Avalos, A. (2020). Production of Biodiesel from Castor Oil: A Review. *Energies, 13*(10), 1-22. https://doi.org/10.3390/en13102467

Palma, J. (2018). Utilización de Ricinus communis L. (higuerilla) en el desarrollo de sistemas silvopastoriles. *Avances en Investigación Agropecuaria, 22*(1). https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83757427018

Parra, S. (2016). Impacto de los biocombustibles y desarrollo de las energías alternativas en Colombia. *Revista Gestión y Desarrollo Libre, 1*(2), 23-32. https://bit.ly/2VqmHnU

Patel, V., Dumancas, G., Kasi, L., Maples, R. & Subong, B. (2016). Castor Oil: Properties, Uses, and Optimization of Processing Parameters in Commercial Production. *Lipid Insights, 9*, 1-12. https://bit.ly/3BEBXwS

Pendón, M., Williams, E., Cibeira, N., Couselo, R., Crespi, G., y Tittonel, M. (4-6 de abril de 2017). *Energía renovable en argentina: cambio de paradigma y oportunidades para su desarrollo.* IV Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión. Universidad de La Plata. La Plata, Argentina. https://bit.ly/3BAMKbB

Pérez, D. (2018). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. *INNOVA Research Journal, 3*(3), 23-34. http://201.159.222.115/index.php/innova/article/view/635/597

Portillo, L., Rodríguez, N., Rodríguez, A., Gómez, R. y Pérez, A. (2017). *Manejo de higuerilla (Ricinus communis L.) para el Valle del Mezquital, Hidalgo.* Politécnica de Francisco I. Madero. https://bit.ly/3BESNvy

Ramírez, I. y Giraldo, L. (2017). Evaluación de suplementos alimenticios conteniendo torta de higuerilla sobre la degradación in situ de dietas con pasto kikuyo y la producción lechera en vacas Holstein. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, 12*(2), 103-122. https://bit.ly/2WY6837

Ramos, F., Díaz, M., y Villar, M. (2016). Biocombustibles. *Asociación Civil Ciencia Hoy. 25*(147), 69-73. https://cutt.ly/5WY2OYj

Raya, J., Ramírez, J., Covarrubias, J., Chablé, F. y Aguirre, C. (2016). Manejo agronómico de la higuerilla (*Ricinus communis L.*). *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica, 4*(21), 1-10. https://bit.ly/3zDqop2

Reséndiz-Vega, M., Mendoza-Schroeder, R. y Bravo-López, P. (2019). Biodiesel & combustóleo, alternativa sostenible. *Tepexi Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río, 6*(11), 16-19. https://doi.org/10.29057/estr.v6i11.3820

Rodríguez, E., Aragón, A., Aragón, M., Pérez, B., López, J. (2017). Efectos del extractor vegetal de higuerilla (*Ricinus communis L.*, 1753) sobre larvas del depredador natural *Chrysoperla carnea Stephens* (*Neuroptera: Chrysopidae*). *Entomología Mexicana*, (4), 73-78. https://bit.ly/3BH5cPq

Romanelli, G., Ruiz, D., y Pasquale, G. (2016). *Química de la biomasa y los biocombustibles.* Universidad de La Plata. https://cutt.ly/4WYFQol

Sagarpa (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030.* Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). https://bit.ly/38tGh5G

Sagarpa (2018). *Manual Gráfico para la Descripción Varietal de la Higuerilla.* Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). https://bit.ly/3BLC1e9

Sanaguano, H., Bayas, F. y Cabrera, C. (2019). Componentes presentes en el aceite de fritura usado y determinantes previos a su conversión en biodiesel. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalur-*

gia y ciencias geográficas, 22(44), 33- 38. https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i44.17283

Sánchez, L., Llano, B. y Rios, L. (2017). Producción de Diésel Renovable a partir de Aceite de Higuerilla mediante Catalizadores de Níquel-Molibdeno Soportados sobre Alúmina. *Información Tecnológica, 28*(1), 13-24. https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v28n1/art03.pdf

Sánchez, M., Castañeda, R. y Castañeda, M. (2016). Usos y potencialidad de la Higuerilla (*Ricinus communis*) en sistemas agroforestales en Colombia. *PUBVET, 10*(6), 507-512. https://bit.ly/3zKk7aY

Sapuyes, A. (2019). *Diseño de un equipo para la extracción de aceite de higuerilla* [trabajo de titulación, Universidad del Cauca]. Repositorio UNICAUCA. https://bit.ly/3n8Ga87

Solís, J., Muñoz, A., Escalante, J., y Zamarripa, A. (2016). Crecimiento de variedades y componentes del rendimiento de higuerilla (Ricinus communis L.) en Montecillo, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7*(2), 311-323. https://bit.ly/2WRYRS6

Sosa, F. (2018). Avances científicos para potenciar la agroindustria de oleaginosas. *Revista Universidad EAFIT, 52*(170), 70-73. https://bit.ly/3yOCZ7F

Sreenath, J. & Pai, A. (2018). Biodiesel: A Review on Next Generation Fuels. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, 43*(1), 58-66. https://bit.ly/2X184YV

Tacias, V., Rosales, A. y Torrestiana, B. (2016). Evaluación y caracterización de grasas y aceites residuales de cocina para la producción de biodiesel: un caso de estudio. *Revista internacional de contaminación ambiental, 32*(3), 303-313. https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.05

Urteaga, P. (2017). Biocombustibles y agua. La transformación del espacio en Piura, Perú. *Anthropologica, 35*(38), 7-38. http://dx.doi.org/http://doi.org/10.18800/anthropologica.201701.001

Valderrama J., Mery A. y Aravena F. (1994). La higuerilla y su principal producto: Aceite de ricino. Parte 1. Aspectos generales. *Información Tecnológica, 5*(1), 87-90.

Vasco-Leal, J., Hernández-Ríos, I., Méndez-Gallegos, S., Ventura-Ramos, E., Cuellar-Núñez, M. y Mosquera-Artamonov, J. (2017). Relación entre la composición química de la semilla y la calidad de aceite de doce accesiones de *Ricinus communis L. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8*(16), 1343-1356. https://bit.ly/3mWGDtE

Vasco-Leal, J., Mosquera, J., Hernandez-Ríos, I., Mendez-Gallegos, S., Perea-Flores, M., Peña-Aguilar, J. y Rodriguez-García M. (2018). Physicochemical characteristics of seeds from wild and cultivated castor bean plants (*Ricinus communis L.*). *Ingeniería e Investigación, 38*(1), 24-30. https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingeinv/article/view/63453

Vélez, N. (2021). *Evaluación morfoagronómica de la diversidad de la higuerilla (Ricinus communis L.) Presente en la zona centro sur del Ecuador* [tesis de maestría, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio institucional UTN. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11113

Vidal-Benavides, A., Quintero-Díaz, J. y Herrera-Orozco, I. (2017). Análisis de ciclo de vida de la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal usado. *Dyna, 84*(201), 155-162. https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.54469

Yeboah, A., Ying, S., Lu. J. & Xie, Y. (2020). Castor oil (*Ricinus communis*): a review on the chemical composition and physicochemical properties. *Food Sciencie and Technology*. https://doi.org/10.1590/fst.19620

Zanchett, M., Bellé, C., Zanchett, M., Flores, M. y Cericato, A. (2016). Producción y viabilidad del uso de biodiesel proveniente de aceite residual de fritura. *Agrociencia, 20*(2), 36- 42. https://bit.ly/3h7wczK

EDITORIAL
NAVEGANTE