

Aprovechamiento Del Aceite De Cocina Usado: Un Residuo Como Materia Prima

Diana Carolina González González

Karol Lorena Guerrero Rojas

Facultad de ingeniería, Universidad EAN

Ingeniera: Luz Myriam Satizabal Solano

Bogotá, Colombia

05 de diciembre de 2023

Contenido

Objetivo General	6
Objetivos Específicos	6
Biocombustible: Biodiésel	9
Glicerina: Subproducto del Proceso de Obtención de Biocombustible	11
Los Combustibles Fósiles	13
El carbón:.....	14
El petróleo:	14
El gas natural:	14
Biocombustibles	15
Primera generación:	16
Segunda generación:.....	16
Tercera generación:	16
Cuarta generación:	17
Obtención del Biocombustible a partir del aceite de cocina usado.....	17
Aceite de Cocina y el Impacto Ambiental	19
Análisis de Restricciones	23
Restricciones Económicas.....	23
Restricciones Ambientales	23
Metanol:.....	23
Restricciones Legales.....	24
Restricciones de Riesgo	25
Metodología	25
Etapa Experimental	27
Evaluación de Costos.....	40
Conclusiones.....	45
Referencias.....	47

Resumen Ejecutivo

Debido a la preocupación que se presenta hoy en día por la contaminación ambiental y el calentamiento global, surge la necesidad de crear fuentes de energía no convencionales, con el fin de contribuir en la reducción de gases efecto invernadero y la disminución de la huella de carbono. El siguiente documento presenta la investigación de viabilidad de un combustible limpio y renovable, centrandó esta investigación en la generación de un biocombustible a partir de aceite de cocina utilizado, dando paso a una transición energética y una búsqueda de energías alternativas.

Este proceso de reciclaje se obtiene a partir de la transesterificación, un proceso de transformación química el cual da como resultado la obtención de biocombustible y glicerina, creando así un método eficiente para convertir el aceite de cocina en un combustible alternativo y seguro a los combustibles fósiles. El uso del catalizador adecuado puede influir en el rendimiento de la reacción y en la obtención eficaz del biocombustible, debido a que puede favorecer otro tipo de reacción.

Palabras Claves

Biocombustible, glicerina, aceite de cocina, transesterificación, transición energética, fuentes alternativas de energía, catalizador.

Introducción

Con el surgimiento de los avances tecnológicos en la década de los años 70's y 80's ha aumentado considerablemente el consumo energético, desencadenando un problema ambiental debido al aumento de CO₂ por la quema de combustibles fósiles y el agotamiento de los recursos naturales. El incremento en la demanda energética inicia investigaciones para la búsqueda de alternativas con menor impacto ambiental (Fernández Duran, R. 2006).

En la actualidad el mundo presenta una crisis energética, iniciando en el 2021 y finalizando la pandemia por Covid-19, con un alza en el precio del gas y el petróleo, la cual aumento con la guerra entre Rusia y Ucrania con un efecto en el incremento de la electricidad. El precio del barril aumento de 4 dólares a 87 dólares (International Energy Agency [IEA] ,2022) creando una crisis económica industrial principalmente en Europa dado que su consumo energético depende en su mayoría del gas, esta situación desencadeno un retroceso en el proceso de energías limpias pues diferentes países incrementaron la producción del gas y petróleo para su exportación.

La crisis que se enfrenta actualmente pudo ser amortiguada si no existiera la dependencia de los combustibles fosilizados, (IEA,2022) incorporando opciones energéticas diferentes, como lo serian: la energía solar, eólica, geotérmica, fuentes de hidrogeno o biocombustibles. Actualmente los biocombustibles han sido adoptados como alternativas en múltiples países a nivel mundial; en Europa, Alemania y Austria, implementaron con éxito la utilización del biodiésel puro (B100) (Mora y Ureña, 2022). Debido a la escasez y aumento del precio de petróleo y sus derivados en el mercado.

En Colombia el 84% de la población consume aceite de cocina diariamente (Mobiometrics 2023), pero la disposición final de este desecho no se realiza de manera correcta, terminando en la red del alcantarillado, creando una capa de grasa en la superficie del agua impidiendo la oxigenación contaminando ríos, mares y acuíferos (secretaría distrital de ambiente, 2021). A causa de esto es indispensable su correcta disposición final y su reciclaje, puesto que estos aceites vegetales pueden ser transformados mediante un proceso de transesterificación el cual consiste en una reacción química que involucra el aceite de cocina para la obtención de biocombustible.

Finalmente, esta fuente alterna puede reducir el impacto de emisiones de monóxido de carbono (CO) en automóviles hasta un 79%, en comparación con el diésel (Ramírez 2012). Es por esto la producción de biocombustible a partir de aceite de cocina utilizado es una opción viable para generar impacto económico y ambiental.

Objetivos

Objetivo General

Generar biocombustible y sus subproductos a partir de aceite de cocina usado. Con el fin de promover la generación de nuevas fuentes de energía no convencionales, contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental y promoviendo el uso de energías renovables.

Objetivos Específicos

- Evaluar el rendimiento del Biocombustible obtenido mediante el catalizador con Hidróxido de potasio, hidróxido de sodio y con carbonato de potasio.
- Comparar las propiedades del Biocombustible obtenido a partir del aceite de cocina usado, evaluando el cumplimiento con la normativa vigente y regulatoria en Colombia.
- Analizar la viabilidad económica en la producción de Biocombustible y de Glicerina, como alternativa a la disminución del impacto ambiental y aporte a la demanda energética.

Definición Del Problema

El aceite de cocina es un ingrediente que se usa en cada uno de los hogares colombianos y es indispensable para la cocción de algunos alimentos, sin embargo, esto se vuelve una problemática cuando se desecha de forma inadecuada, ya que este residuo es una amenaza para los cuerpos de agua y una problemática para la red de alcantarillado en las residencias urbanas (secretaría distrital de ambiente, 2021). En Colombia se recicla solo el 4 % del aceite que se consume y un 35 % se convierte en residuo cuando termina su vida útil. (Ecogras, 2020).

El desconocimiento de las personas y la falta de compromiso de algunas empresas, restaurantes y zonas residenciales hace que esta problemática aumente, se puede llegar a contaminar hasta 1000 litros de agua por 1 litro de aceite que se vierte en el desagüe o sifón. (Ecogras, 2020). Solo en la ciudad de Bogotá se dispone de 130 sitios autorizados para llevar el aceite de cocina usado y que este pueda ser reciclado y reutilizado, estos contenedores están a disposición de la ciudadanía gracias a (EAAB) la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá. (Ruiz Rojas, A. 2023).

De esta manera se ha iniciado investigaciones que ofrezcan alternativas para el reciclaje de este residuo, sin embargo, aún falta concientización de la ciudadanía en la disposición final. Al igual que explorar nuevas fuentes de energía no convencionales que ofrezca este tipo de residuos como lo es el biocombustible o biodiesel, aportando a la matriz y la transición energética del país y dar cumplimiento a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), con una nueva generación de combustibles y energías renovables que tenga un mínimo impacto ambiental.

Justificación

Con la revolución industrial la humanidad ha dependido de combustibles fósiles, una fuente de energía que se pensaba entonces no llegaría a su fin, luego de varias revoluciones tanto tecnológicas como industriales y la dependencia al 100% de esta fuente no renovable, parece que la humanidad está cayendo en decadencia, los recursos se agotan y el mundo cada vez está más contaminado, sobrepoblado y dañado. (Serna, F. et al, 2011).

El consumo de biocombustibles se ha visto en aumento con el afán de mitigar el daño ambiental, este combustible que se promete amigable con el planeta, es posible obtenerlo de la biomasa, materia prima que puede ser de origen vegetal o animal. Los combustibles más comunes que se pueden encontrar son el biodiésel y el bioetanol, con una aceptación en vehículos de transporte hasta del 85%. Al igual que la energía eólica y la energía solar, los biocombustibles se han convertido en una alternativa energética aceptable y cada año crece la producción debido al aumento en la demanda y los mercados de consumo, dando paso a nuevos empleos y emprendimientos. (Serna, F. et al, 2011).

Al desarrollar esta investigación se busca conseguir materias primas a partir de los residuos producidos en las zonas residenciales y en el comercio informal de alimentos, que no cuentan con una regulación o una ruta para la adecuada disposición de los residuos líquidos, en este caso el aceite de cocina, promoviendo una economía circular y la disminución de residuos generados.

Este documento indaga sobre dar un mejor entendimiento del reciclaje y aprovechamiento de los residuos, mitigando así el impacto al medio ambiente, además de

proponer la recolección y tratamiento del aceite de cocina usado, cumpliendo con la normativa ambiental vigente, con la oportunidad de una fuente de ingresos y de emprendimientos, basado en las experiencias de anteriores científicos y pioneros en el tema.

La OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos), da una visión de un futuro optimista frente a la agenda de cumplimiento para el año 2030, sin embargo, el aumento de la población aumenta la demanda en el consumo energético y el consumo de productos y servicios básicos, el petróleo seguirá siendo la fuente más explotada y explorada. (Fernández Duran R, 2006).

Por tal motivo las nuevas generaciones se ven enfrentadas, a pensar y plantear alternativas que lleven al desarrollo de fuentes energéticas renovables y sostenibles, en productos y materias primas que puedan ser reutilizadas y recicladas, que se comprometan con el cuidado y reserva del medio ambiente, supliendo las necesidades básicas de la población.

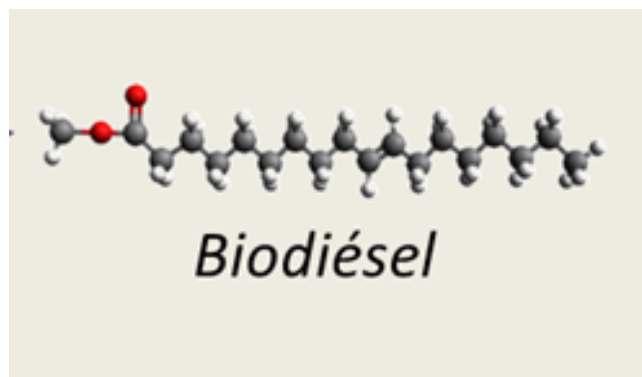
Análisis De Requerimientos

Biocombustible: Biodiésel

El Biodiésel es un biocombustible líquido de origen biológico, la materia prima para la producción de este puede ser de origen animal o vegetal, la biomasa vegetal más utilizada es la soja, la colza y el girasol y aceite de palma. Según la *American Society for Testing and Material Standard* (ASTM), caracteriza al biodiésel como ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, que se derivan de los lípidos como ya se mencionó anteriormente de origen vegetal o grasas de animales, y que por su gran similitud al diésel pueden usarse en motores tipo “Diesel”. (Biodiésel, s.f.).

Figura 1.

Estructura molecular de biodiésel



Nota: Imagen tomada de energía y sostenibilidad.

En la siguiente tabla se puede apreciar las características fisicoquímicas del biodiesel obtenido del aceite de cocina usado.

Tabla 1.

Características fisicoquímicas del Biodiesel obtenido del aceite de cocina.

Propiedad	Unidad	Valor Aproximado
Conversión	% (m/m)	96,50 a 97,50
Densidad a 15 °C	Kg/m ²	860 a 900
Viscosidad a 40 °C	mm ² /g	3,50 a 5,00
Punto Inflamación	°C	120
Contenido de Azufre	mg/kg	10
Índice de Cetanos	N°	51
Contenido máximo de agua	mg/kg	500
Contenido de metanol	% (m/m)	0,20
Contenido de monoglicéridos	% (m/m)	0,80
Contenido de diglicéridos	% (m/m)	0,80
Contenido de triglicéridos	% (m/m)	0,20
Glicerol libre	% (m/m)	0,02
Glicerol total	% (m/m)	0,025
Metales del grupo I (Na - K)	mg/kg	5,00
Metales del grupo II (Ca - Mg)	mg/kg	5,00
Contenido de fósforo	mg/kg	10,00
Índice de yodo (para soja)	g yodo / 100 g	120

Nota: Universidad de Palermo. (s.f.). Biodiesel.

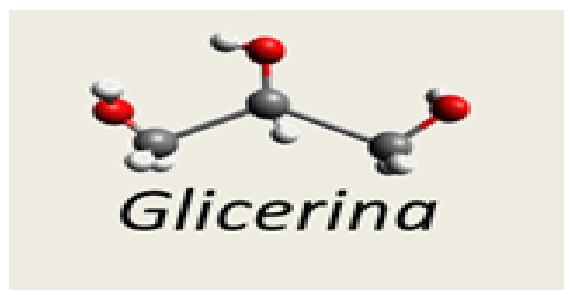
La similitud en las propiedades físico químicas entre estos dos productos como: La densidad, viscosidad, el grado de ignición en la combustión entre otras, hace que el biodiésel sea una alternativa muy favorable para su uso en motores, además se resalta la presencia de oxígeno en la cadena de carbonos, este contenido otorga una combustión más limpia y con más eficiencia, sin embargo, el oxígeno presente puede generar una disminución en el poder calorífico y en la estabilidad química del combustible. (Alejos, 2022).

Este biocombustible es un éster del glicerol y del ácido oleico con $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$, se caracteriza por ser una sustancia que no es inflamable, no es un líquido explosivo, es biodegradable y ayuda a la disminución de las emisiones de CO_2 al ambiente, al igual que las emisiones de partículas sólidas, una desventaja de este combustible y es la más característica, es corrosivo lo que puede generar daños en los motores que no estén adaptados a este, por lo tanto se realiza una mezcla entre Biodiesel y diésel en una proporción aproximada de 20% v/v de biocombustible y 80 % v/v de Diesel. (Dufour, 2012).

Glicerina: Subproducto del Proceso de Obtención de Biocombustible

Figura 2.

Estructura molecular de la glicerina



Nota: Imagen tomada de energía y sostenibilidad.

La Glicerina conocida, así como nombre comercial y Glicerol como nombre genérico o químico, es una sustancia líquida casi incolora, cuando se encuentra en estado puro, puede llegar a ser tóxica al ser adsorbida por el metabolismo y puede ser inflamable, es un polialcohol en cadena con tres átomos de carbono y unidos tres grupos hidroxilos, es usada en productos cosméticos y en la industria farmacéutica, normalmente la recomendación es de uso tópico únicamente.

Tabla 2.

Características fisicoquímicas de la Glicerina o Glicerol.

Propiedad	Unidad	Aproximado
Aspecto/olor	-	Incoloro e inoloro
Rango de ebullición	°C	≥ 280
Punto de ignición	°C	> 170
Presión de vapor a 50 °C	mbar	0,0025
Densidad relativa Aprox. A 20 °C	g/cm ³	1,263
Solubilidad en agua	-	soluble
Toxicidad aguda	mg/kg	12,600
Ecotoxicidad	-	No requiere clasificación ambiental específica
Punto de congelamiento	°C	17
Ph	-	5,0 a 6,5

Nota: Quimipur, S.L.U. (2019).

El glicerol se conoce como un compuesto orgánico cuya composición es a base de alcohol de azúcares, que se encuentra en todas las grasas naturales, ya sean estas de origen vegetal o animal. Debido a sus varios beneficios la glicerina se usa en diferentes industrias, en su más alto grado de pureza se considera una sustancia hipoalergénica, así que su uso se amplía hacia la producción de: Geles de ducha, cremas y lociones corporales, shampoo, en algunos casos con fórmulas para pieles sensibles, quemaduras o con alguna indicación médica especial.

En la industria farmacéutica se usa como aglutinante y lubricante, para productos finales como. Cápsulas, pastillas, supositorios y otra infinidad de productos de uso médico orientado a la línea humana y veterinaria. En la industria alimenticia también en una materia prima importante debido a que se utiliza como: Conservante, humectante en varios productos y edulcorante. (Conjunto LAR de México, 2019).

Marco De Referencias

Los Combustibles Fósiles

La energía nos garantiza una mejor calidad de vida y acceso a algunas comodidades de nuestra vida cotidiana, sin embargo, la industrialización, la competencia económica y el desarrollo, junto a el avance de la tecnología a pasos agigantados nos exige un mayor consumo de energía. En la actualidad contamos con limitadas fuentes energéticas como lo son el petróleo, carbón y gas; gracias al avance en investigación de varias disciplinas, se ha podido hacer la extracción de estos materiales, pero aun así la energía que se obtiene por la combustión de fósiles tiene una demandada en aumento, se ha pensado en otras fuentes que nos puedan abastecer de las necesidades energéticas, sin embargo, la exploración de combustibles fósiles sigue siendo la más usada en nuestro mundo moderno.

La formación de los combustibles fósiles ocurrió hace muchos años bajo condiciones especiales de cambios geoquímicos por la descomposición de materia orgánica fosilizada, básicamente por plantas y animales; Los combustibles fósiles no son renovables, por lo tanto, se habla de reservas que cada vez se ven más explotadas y agotadas ya sea de forma legal o ilegal, en cualquiera de los dos casos se ve afectado el medio ambiente y por consiguiente a la

humanidad. (Juste, I. 2018). Los principales grupos de combustible fósil que podemos encontrar son:

El carbón: Se caracteriza por ser trozos negros y se agrupa según su contenido de carbón, este proporciona hasta un tercio de la energía usada en el planeta, siendo el sector productor al de mayor consumo de este combustible.

El petróleo: Se caracteriza por ser un combustible líquido negro, aunque su color y la viscosidad pueden variar por la composición química que esté presente, es altamente transformado y usado para la fabricación de varios productos y combustibles para los diferentes medios de transporte.

El gas natural: su característica principal es que está compuesto por metano (CH₄) y su extracción es por medio de la fractura hidráulica de la roca o como se le conoce como –Fracking– a diferencia del petróleo, las reservas de gas natural hasta el momento encontradas no se explotan activamente. (Nunez, C. National Geographic. s.f.).

El auge en el consumo de los combustibles fósiles se dio tras la revolución industrial a inicios del siglo XX, se necesitaba más energía para poner en marcha las máquinas de producción y por ende más personas que manejaran esas maquinas, dándose un fenómeno de asentamiento en las ciudades ubicadas donde estaba el trabajo (la industria), para ese momento la fuente más usada era el carbón, generando grandes cantidades de gases al momento de su combustión, poco tiempo después el petróleo reemplaza el uso de carbón, ya que era más económico, con una población creciente y con un consumo desenfrenado hace que este crudo se vuelva el material indispensable para mantener un mundo que está en constante cambio y desarrollo hacia la urbanización y la producción. (Fernández Duran R, 2006).

Es innegable la contaminación que se genera a partir de los combustibles fósiles, los países que se han aprovechado más de este tipo de energía y la han explotado de una manera desconsiderada han aproximado al mundo a lo que se conoce como el punto de no retorno, por el aumento en la temperatura del planeta y el daño que provocan los gases de efecto invernadero y la contaminación que deja la producción en masa. La acción por el clima es una medida que debemos adoptar y que muchos gobiernos han pensado como implementar una estrategia de transición energética sostenible, para eso se piensa en alternativas como el uso de biocombustibles, aprovechados desde materia orgánica. (Nunez, C. *National Geographic*. s.f.).

Biocombustibles

El uso de combustibles ha estado presente desde la prehistoria, como fuente de calor y luz, desde el descubrimiento de fuego; el biocombustible se presenta en el año 1893 por primera vez, gracias al ingeniero alemán Rudolf Christian Karl Diesel (París, 1858 - canal de la Mancha, 1913), quien se dedicó al desarrollo de motores que presentaran un rendimiento aproximado a la idea que presentó el ingeniero y científico francés Nicolas Leonard Sadi Carnot (París, 1796-id., 1832), la eficiencia de los motores diésel se caracteriza por su combustión interna, que poseía una potencia de 25 caballos de vapor. (Biografías y vidas, s.f.).

El motor presentado por el ingeniero Rudolf Diesel funcionaba gracias al aceite de maní, presentando así el primer combustible a base de materia orgánica, Diesel propuso que este biocombustible podría ser el remplazo del carbón y del petróleo, pero su idea no se usó ya que se tenía que modificar el motor, para adaptarlo a ese tipo de combustible con una viscosidad menor, debido a esto no se tomó la idea; en la actualidad se retoma la idea de los biocombustibles por las problemáticas que enfrentamos debido al cambio climático por la contaminación. (Revista Motor a Diesel, 2020).

Aunque la primera idea de los combustibles a base de aceites vegetales fue del ingeniero alemán Diesel, la patente la obtuvo el Belga G. Chavanne, por realizar la alcoholisis en los aceites vegetales, estos estudios se basaron en la reacción de un Ester etílico del aceite de palma; incluso existe registros del uso de los biocombustibles en la II guerra mundial, en algunos países de Latinoamérica y de Asia, debido a que los países se encontraban incomunicados, recurrieron a estos combustibles, luego del conflicto mundial, los precios del crudo de petróleo se regularon y se dejó de usar el biocombustible. (Farm Energy, 2019).

Desde su descubrimiento los biocombustibles, se han desarrollado más tecnologías, que desafían este combustible, por lo tanto, se clasifican en generaciones descritas a continuación:

Primera generación: Se caracterizan por ser de procedencia agrícola, en su mayor parte están estos son ricos en almidón, azúcares y aceites, entre los cuales podemos encontrar: el zumo de la caña de azúcar, maíz, zumo de remolacha o betabel; en cuanto a aceites encontramos: aceite de semilla de girasol, aceite de soya, aceite de palma, aceite de ricino, aceite de semilla de algodón, aceite de coco, aceite de maní o cacahuete; también es posible transformar desechos de que se producen en la preparación de los alimentos y de grasa animal.

Segunda generación: Estos se caracterizan por ser de igual manera residuos agrícolas y residuos forestales con alto contenido de celulosa, donde se puede encontrar. bagazo de la caña de azúcar, maíz (tallos, hojas y el raquis del maíz), paja de trigo, el aserrín, las hojas y ramas secas de árboles.

Tercera generación: En esta generación se basan en el estudio de la producción de biocombustibles a partir de vegetales que no son alimenticios de crecimiento rápido y con una alta densidad energética llamados “cultivos energéticos”, encontramos: pasto, árboles, plantas y

algas. La característica importante de estos biocombustibles es la captura del Dióxido de carbono (CO₂). Este estudio aún se encuentra en investigación y desarrollo en planta piloto.

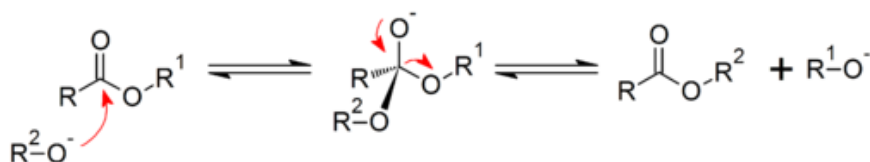
Cuarta generación: Esta generación involucra microorganismos (Bacterias), que han sido modificadas genéticamente, al igual que en la tercera generación la característica importante es la captación de Dióxido de carbono (CO₂). la ventaja de estos combustibles es la degradación rápida y el bajo impacto que tienen sobre el medio ambiente, ya que son materia orgánica, ayudando así a mitigar los gases de efecto invernadero que se emiten al realizar la quema de combustibles fósiles. (Álvarez Maciel, C. 2009).

Obtención del Biocombustible a partir del aceite de cocina usado

La obtención de biocombustible se realiza a través de la reacción de transesterificación, que es básicamente el intercambio de radicales de cadena larga de ácidos grasos en un éster con un grupo orgánico R'' y esta reacción debe producirse en presencia de un catalizador ya sea ácido o básico. (IQR., 2020).

Figura 3

Reacción de transesterificación en secuencia.

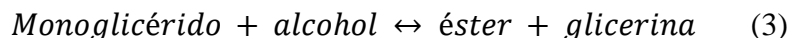
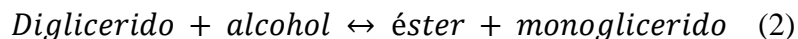
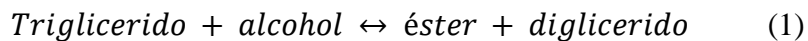


Nota: Se observa cómo se hace el desplazamiento del grupo orgánico R''.

La reacción no se da una sola vez, tiene la propiedad de ser reversible y se da en secuencia como se muestra a continuación.

Figura 4.

Reacción de transesterificación en secuencia.

**Catalizadores**

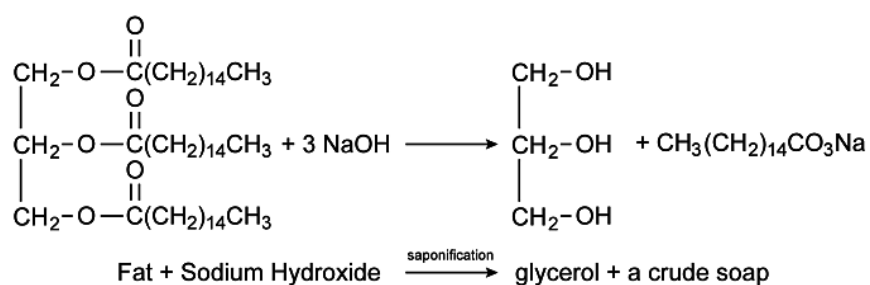
Son usados para para acelerar la velocidad de reacción y ayudar a consumir menos energía durante la reacción, se puede encontrar diversos tipos de catalizadores, todo depende de la reacción que se quiera llevar a cabo y en qué condiciones. (Khan Acedemy., s.f). Los catalizadores más utilizados en las reacciones de transesterificación son los siguientes:

- Catalizadores ácidos homogéneos o heterogéneos (HCl, H₂SO₄, HPO₃: zeolitas, resinas sulfónicas).
- Catalizadores básicos homogéneos o heterogéneos (NaOH, KOH, etc: CaO, MgO, etc).
- Catalizadores enzimáticos (lipasas).

Hidróxido de Sodio: Se caracteriza por ser un sólido, de color blanco con la capacidad de adsorber la humedad, es bastante corrosivo y su nombre comercial es sosa caustica. Es una de las materias primas para la fabricación de jabones, cremas, explosivos y también se usa en la industria textil. Reacciona de forma muy eficiente con los ácidos grasos dando paso a la reacción de saponificación. (ToxFAQs, s.f.). La reacción de saponificación consiste en la adición de un ion OH⁻ luego se elimina el grupo de alcohol y posterior ¿mente se forma un acido débil, un acido fuerte y un ion alcoholato. Es mas eficiente en presencia de calor, al reaccionar con agua se

produce una descomposición de ellos ácidos grasos en los aceites y como subproducto glicerina. (IQR, 2020).

Figura 5.



Nota: Reacción química de saponificación. IRQ, 2020.

Hidróxido de Potasio: Es un sólido estable de color blanco y está clasificado como altamente corrosivo se emplea en la industria microbiológicos para la detección de hongos. También es usado en la industria farmacéutica, alimentaria y cosmética. Se debe tener bastante precaución en su uso por la toxicidad que puede generar en el organismo. QuímicaIndustria.cl., s.f.).

Aceite de Cocina y el Impacto Ambiental

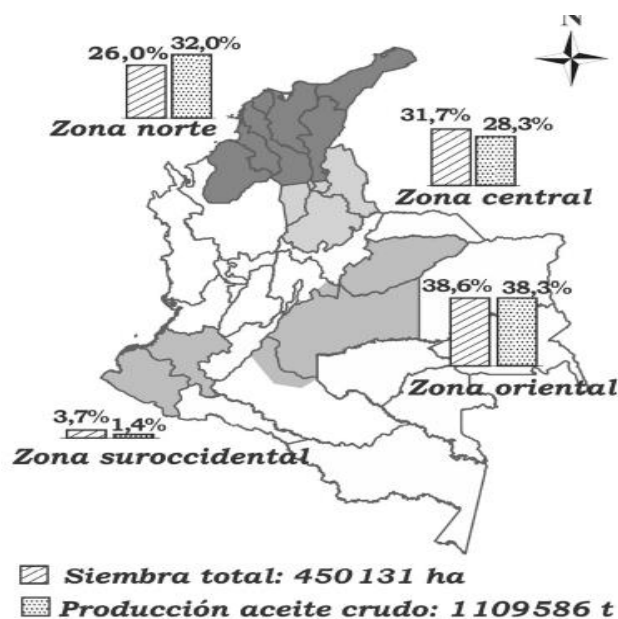
El aceite de cocina comestible, que se usa para la cocción de los alimentos es una mezcla de aceites vegetales, con una mayor proporción de aceite de palma y aceite de soya. Para el consumo humano se debe cumplir con lo estipulado en la Resolución 5109 de 2005, como también de la Resolución 333 de 2011 y Resolución 2508 de 2012, para el consumo humano y la venta de este producto. (Bolsa mercantil de Colombia, 2021).

La palma aceitera africana es originaria de las costas del golfo de Guinea en el Occidente de África y fue introducida a Colombia por la empresa estadounidense United Fruit Company en

el año de 1945 en el departamento del Magdalena, gracias al clima caribeño del país, la planta tuvo una buena adaptación, sin embargo, por ser una planta no nativa puede llegar a ser una especie invasora. Colombia tiene varias hectáreas de siembra de palma aceitera, se muestra en la siguiente imagen. La importancia de este cultivo en cuanto a la economía es por el alto valor en los productos resultantes como artesanías y techos, alimentos para animales, biocompuestos, muebles y fibra, debido a que se aprovecha todo el cultivo desde las hojas, la madera del tronco y el fruto de donde se obtiene en promedio 3,14 t de aceite, posicionando a Colombia como el cuarto país a nivel mundial en la producción del aceite de palma, se producen también hasta 21,68 t de residuos como biomasa o bagazo, sin embargo. (Sierra Márquez, J. et al, 2016).

Figura 6.

Distribución de cultivos de aceite de palma en Colombia.



Nota: Potencial económico de la palma aceitera. Cultivos de palma aceitera en Colombia

Participación porcentual de las zonas palmeras en Colombia en el año 2014.

Colombia es un país que ha tenido siempre conflictos con la distribución territorial, por cuenta de los grupos armados, debido a esta coyuntura, no se permite el buen avance en la planificación territorial, el desplazamiento forzado de los pueblos indígenas nativos, los campesinos y los propietarios de tierras de forma ilegal, en el año 2008 se realizó una investigación sobre “la relación directa entre la palma y el desplazamiento en las áreas donde se fomentaban los cultivos” del profesor Camilo Sabogal en la universidad de Cartagena, sin embargo, el presidente de Fedepalma el señor Jens Mesa aclaró la incurrencia de grupos armados al margen de la ley, que tuvieran vínculos con el desplazamiento de campesinos para la siembra de este cultivo de forma ilegal, refiriéndose a que la industria productora de aceite de palma es netamente legal y regulada. (Volckhausen, T. 2018).

Fedepalma es una empresa colombiana constituida en 1962 y actualmente ocupa el tercer puesto en la agroindustria como productor de aceite de palma a nivel nacional, además se destaca el trabajo que ha tenido por la sostenibilidad en el proceso de la producción de aceite de palma con el proyecto “la palma es vida” que invita a la ciudadanía y a los consumidores al reciclaje del aceite de cocina para la recuperación de la palma de aceite y poder incorporarla como materia prima nuevamente. (Fedepalma.org, s.f).

La empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá (EAAB), nos brinda indicaciones útiles para la disposición del aceite usado y que este no sea vertido en los desagües de las casas, las recomendaciones son: dejar enfriar el aceite, luego vestirlo en una botella con la capacidad suficiente y llevarlo a algunos de los puntos de acopio para este residuo. (Ruiz Rojas, A. 2023). Ecogras es una empresa colombiana creada en el año 2011 en la ciudad de Medellín, donde se formó con la necesidad de recolección de aceite de cocina usado (ACU), en los hogares y en los restaurantes, con la adecuada disposición de este residuo lograra mitigar el impacto ambiental en

los cuerpos de agua y en las zonas donde se pueden producir lixiviados, esta empresa con un enfoque sostenible cuenta con 15 punto de recolección autorizados en la ciudad de Medellín. (Ecogras Colombia. 2020).

En la actualidad y por parte de la alcaldía de Bogotá se cuenta con 25 puntos de recolección autorizados de este residuo. (Ruiz Rojas, A. 2023). Ecogras no recibe grasa de motores o de trampas de agua, debido a que este residuo tiene un manejo diferente en su disposición final, al igual que la calidad de los productos que se pueden obtener del ACU. (Ecogras Colombia. 2020).

La preparación de los alimentos en los hogares requiere de varios ingredientes entre esto el aceite, que forma parte fundamental para la cocción adecuada y más cuando se habla de frituras, sin embargo, el inadecuado manejo del aceite es una problemática tanto económica como ambiental, así se expresó en un informe que se realizó en la provincia de Vizcaya (España), donde se determinó el coste que se tiene al depurar las aguas que han sido contaminadas con ACU, se concluyó que se paga 700 veces más en el tratamiento de agua que han tenido contenido con el aceite de cocina usado, que lo que pagar los ciudadanos por el agua potable. Además, si se tiene en cuenta el impacto ambiental donde se reporta la contaminación de los cuerpos de agua donde 1 litro de aceite puede contaminar de 1.000 a 40.000 litros agua, también, se corre el riesgo de presentar inundaciones en las calles perjudicando las viviendas, dado que en las alcantarillas se solidifica el aceite, creando taponamientos y no solo en las alcantarillas si no también en las tuberías de las mismas viviendas. (Observatorio ambiental de Bogotá. 2021).

Análisis de Restricciones

Restricciones Económicas

La implementación de producción del biocombustible a partir del aceite de cocina utilizado cuenta con un costo inicial elevado a nivel de planta de producción, es decir si este se desea industrializar su costo inicial en maquinaria es elevado, pues la tecnología necesaria para este proceso cuenta con un costo elevado, adicional a esto la energía que consume. Por otra parte, la materia prima de donde se deriva este producto puede llegar a tener un precio asequible e incluso nulo.

Restricciones Ambientales

Para el proceso de transformación del aceite de cocina se deben utilizar diferentes elementos químicos como lo son la sosa caustica, el metanol o etanol, los cuales deben cumplir con unas características al igual que la materia prima, para evitar futuros accidentes. Estos elementos deben almacenarse en un lugar seco y libre de humedad, con una ventilación constante.

Metanol: Líquido incoloro utilizado industrialmente como disolvente y materia prima en la obtención de formaldehído, metil éter, butil éter.

Tabla 3.

Propiedades físicas y termodinámicas del metanol.

Propiedad	Unidad	Aproximado
Aspecto/olor	-	Incoloro e inoloro
Rango de ebullición	°C	64.7
Punto de ignición	°C	425
Presión de vapore 25°C	mm	127.2

Densidad relativa Aprox. A 20/4 °C	g/ml	0,7915
Solubilidad en agua	-	soluble
Toxicidad aguda	mg/kg	4.28
Ecotoxicidad	-	No requiere clasificación ambiental específica
Punto de congelamiento	°C	-97.68
pH	-	7,0

Nota: Hoja de seguridad IX metanol,2016.

Sosa Caustica: El hidróxido de sodio o sosa caustica es un sólido blanco e industrialmente se utiliza como disolución al 50% por su facilidad de manejo.

Tabla 4.

Propiedades físicas y termodinámicas de la sosa caustica (Hidróxido de sodio).

Propiedad	Unidad	Aproximado
Aspecto/olor	-	Solido blanco
Rango de ebullición	°C	1388
Presión de vapura 739°C	mm	1
Densidad relativa Aprox. A 25 °C	g/ml	2,13
Solubilidad en agua	-	Soluble

Nota: Hoja de seguridad II Hidróxido de Sodio,2008.

Restricciones Legales

Generar un producto con las características fisicoquímicas del biodiesel para su introducción en el mercado. Rigiendo bajo la Ley 939 de 2004 donde se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso de motores diésel (Ministerio de Ambiente y Desarrollo,2004), la resolución 18-2142 de 2007 la cual expide la norma para el registro de productores y/o exportadores de bicomcombustible y la resolución 90963 de 2014 con los criterios de calidad de los biocombustibles (Ministerio de minas y Energía(2016) normativas del Ministerio de Minas y Energías y sus unidades administrativas adscritas como lo

son la UPME (Unidad de planeación minero-energética) y la CREG (comisión de Regulación de Energía y Gas).

Restricciones de Riesgo

La interrupción de la generación de biocombustible por falta de materia prima (aceite de cocina utilizado) sería el principal riesgo que se tendría para la producción del producto.

Adicional a esto la falta de algún reactivo, material o equipo para el proceso de transesterificación. Con respecto a la salud humana se tiene en cuenta el riesgo por inhalación, contacto con los ojos, contacto con la piel, fuego y explosión de los reactivos (aceite vegetal, metanol e hidróxido de sodio), se recomienda el uso de elementos de protección personal al momento de la manipulación como: bata de laboratorio, guantes de nitrilo, lentes de seguridad y tapabocas.

Metodología

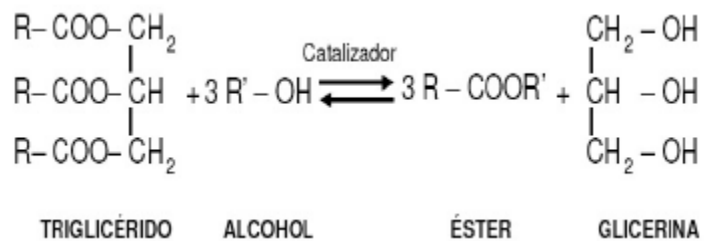
La metodología que se implementará en esta generación de biocombustible será cuantitativa, este proceso de obtención se dividirá en dos tiempos, primero tendremos en cuenta la investigación, formulación, modelación y simulación para la obtención del biocombustible, siguiendo con la parte experimental para la obtención de este.

En esta primera etapa realizaremos un proceso de filtración y preparación del reactivo catalizador (Metanol o etanol), sosa caustica (hidróxido de sodio o hidróxido de potasio) y la filtración y preparación del aceite de cocina (aumento de la temperatura a 60°C), para llegar al proceso de transesterificación. la cual es una reacción catalizada de aceites vegetales en presencia de un alcohol de cadena corta metanol y etanol para la producción de biodiesel y glicerol, como subproductos. (Amaya, Gonzalez,2021). Este proceso se lleva a cabo a partir de la

reacción de los triglicéridos que provienen del aceite vegetal o animal, con un alcohol formando esteres metílicos o etílicos (López, Bocanegra, Malagón,2015).

Figura 7.

Reacción de transesterificación



Nota: Obtención de biodiesel a partir de aceite domestico residual, 2018.

La formación de metílicos o etílicos dependerá del alcohol que se utilice en el proceso de transesterificación, estas materias primas son muy importantes en la reacción para la producción de biodiesel debido a sus cortas cadenas. Después de este proceso se realizará la purificación del biodiesel separándolo de la glicerina por el método de decantación, seguido de unas pruebas de rendimiento y de calidad.

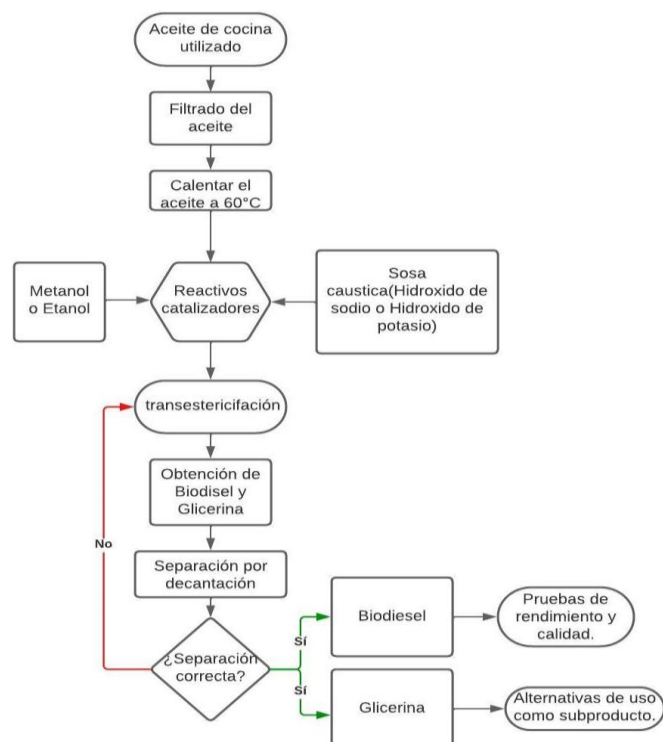
El rendimiento del proceso en la obtención del Biodiesel se calcula con la siguiente ecuación.

(1)

$$\% \text{ Rendimiento de Biodiesel} = \frac{\text{Volumen de Biodiesel obtenido [mL]}}{\text{Volumen de aceite domestico residual [mL]}} * 100 [\%]$$

Figura 8.

Diagrama de obtención de biodiesel



Nota: Diagrama de bloques de autoría propia, basado en: el proceso de generación de biocombustible, experimental en el laboratorio de la universidad EAN.

Etapa Experimental

Para iniciar esta etapa de obtención de biodiesel, debe contarse con la información previa sobre cantidades de cada reactivo, equipos y materiales que se utilizarán para este proceso químico.

Tabla 5.

Reactivos

Cantidad	Nombre	Clase de riesgo*	Medidas de seguridad	En caso de accidente
200 g	Aceite vegetal	Ninguno	Epp	Consultar ficha de

0.80 g	Hidróxido de potasio	de	Químico	Epp	Consultar ficha de
0.80 g	Hidróxido de sodio	de	Químico	Epp	Consultar ficha de se
60 ml	Metanol		Químico	Epp	Consultar ficha de se
2 L	Agua destilada		Ninguno	Epp	Consultar ficha de

Tabla 6.*Equipos*

Cantidad	Nombre	Clase de riesgo *	Medidas de seguridad	En caso de accidente
2	Bascula	Físico	Epp	Consultar manual del equipo
4	Plancha de calentamiento y agitación	Físico	Epp	Consultar manual del equipo
2	Embudo de decantado o separación 100 mL	Físico	Epp	Consultar manual del equipo
1	Estufa	Físico	Epp	Consultar manual del equipo

Tabla 7.*Materiales*

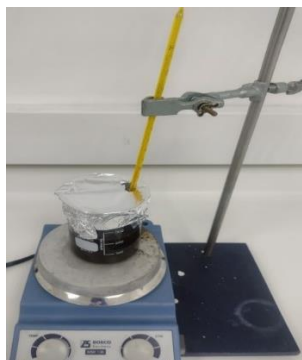
Cantidad	Nombre	Clase de riesgo*	Medidas de seguridad	En caso de accidente
1	Tiras reactivas de PH	Ninguno	Epp	Ninguno
1	Papel Aluminio	Ninguno	Epp	Ninguno
4	Papel filtro	Ninguno	Epp	Ninguno
2	Termómetro	Físico	Epp	Consultar manual del equipo

2	Vaso de precipitado (100 mL).	Físico	Epp	Consultar manual del equipo
4	Vaso precipitado (500 mL)	Físico	Epp	Consultar manual del equipo
2	Espátula	Físico	Epp	Ninguno
2	Agitadores magnéticos.	Físico	Epp	Ninguno
2	Reloj de vidrio	Físico	Epp	Consultar manual del equipo
1	Soporte universal	Físico	Epp	Consultar manual del equipo
2	Pinzas para termómetro	Físico	Epp	Consultar manual del equipo
2	Pinzas para embudo de decantado o separación	Físico	Epp	Consultar manual del equipo
2	Picnómetro de 10 mL	Físico	Epp	Ninguno
2	Macerador	Ninguno	Epp	Ninguno
2	Pipetas 10mm	Físico	Epp	Ninguno
2	Pipeteador	Ninguno	Epp	Ninguno

En este experimento se realizarán dos procedimientos para comparar características del biocombustible, el proceso de experimentación será el mismo para la obtención, variaremos la reacción de catalizadores la cual se llevará a cabo con Hidróxido de Sodio (NaOH) e Hidróxido de Potasio.

Datos del Primer Experimento

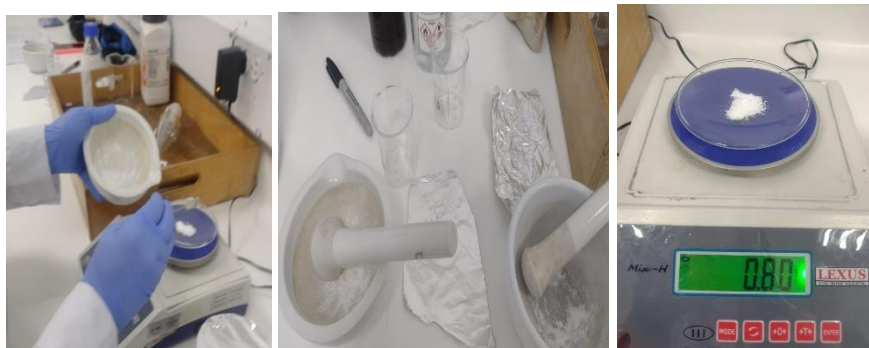
Figura 9



Nota: Fuente propia - Preparación del aceite.

Se calienta 200 g de aceite de cocina utilizado en una plancha de calentamiento y agitación, previamente filtrado en filtro de tela, hasta que este alcance una temperatura de $\pm 60 - 65$ °C. Se tapa con papel aluminio para evitar pérdidas de energía y masa, se introduce un termómetro para controlar la temperatura.

Figura 10



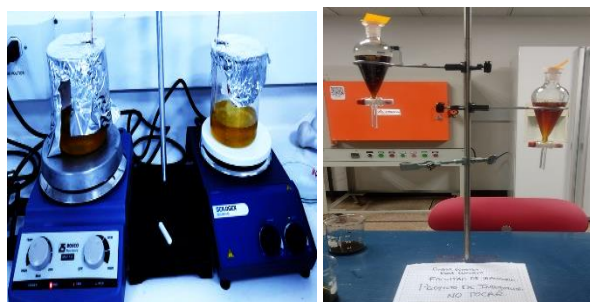
Nota: Fuente propia - Proceso de macerado.

En este paso se debe macerar el hidróxido de Sodio y el hidróxido de Potasio en morteros separados hasta obtener la pulverización del reactivo, luego pesar 0.8 g de cada uno y transferir cuantitativamente a un vaso de precipitado de 100 mL de forma individual, tapar con papel aluminio.

Figura 11

Nota: Fuente propia - Preparación del metóxido.

En los vasos de precipitado de 100 mL de hidróxidos, anteriormente macerados, agregar a él hidróxido de Potasio 27.81 mL de metanol y al hidróxido de Sodio 20 mL, este proceso debe realizarse en la campana de extracción, a la mezcla agregar un agitador magnético cubrir nuevamente con papel aluminio y llevar a la plancha de calentamiento y agitación hasta obtener una mezcla homogénea y a una temperatura de $\pm 60 - 65$ °C agrega al aceite.

Figura 12

Nota: Fuente propia - Reacción de transesterificación.

Una vez el aceite de cocina utilizado y el metóxido se encuentren a una temperatura de $\pm 60 - 65$ °C. En dos vasos de precipitado de 500 ml, cada uno con 100g de aceite agregamos la mezcla de hidróxido de sodio e hidróxido de potasio de manera individual, agregamos un

agitador magnético a cada mezcla, tapamos con papel aluminio y calentamos por 16 minutos, simulando un reactor Batch en una plancha de calentamiento y agitación, vigilamos la temperatura entre 50 a 70 °C, transcurrido este tiempo dejar enfriar y vaciar la mezcla de reacción en el embudo de separación. Dejar reposar durante 24 horas.

Figura 13



Nota: Fuente propia - Separación de biodiesel y glicerina metóxido de potasio.

Trascurridas las 24 horas abrimos la llave de cada uno de los embudos para separar la glicerina del biocombustible, se pesa la glicerina, luego lavar el combustible con agua destilada a 60°C, repetir este procedimiento hasta que el agua del enjuague obtenga un pH de 7.

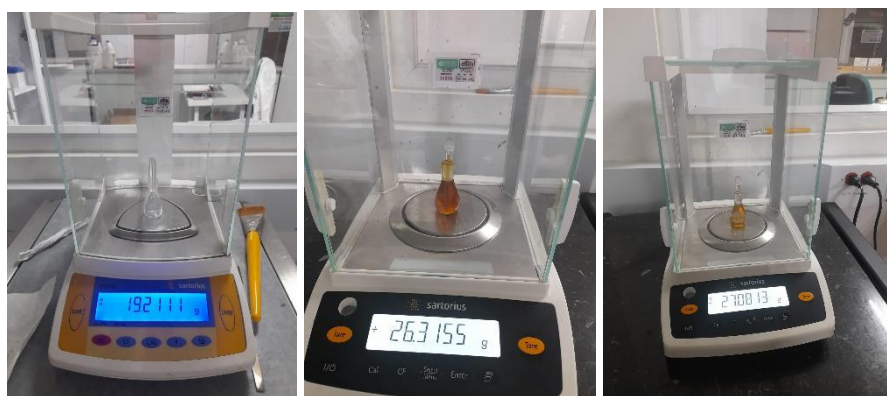
Figura 14



Nota: Fuente propia - Proceso de secado del biocombustible.

Finalmente se extrae el agua destilada que puede haber quedado al momento del lavado, se lleva a una estufa a una temperatura de 60°C durante 24 horas, luego se debe pesar el biocombustible después de la estufa para calcular pérdidas por calor. Se calcula el rendimiento de la reacción.

Figura 15



Nota: Fuente propia - Densidad del biocombustible.

Después de retirar el biocombustible, se calcula la densidad para esto utilizamos un picnómetro de 10.456 cm³ y un peso de 19.211 g, lavamos y repetimos este procedimiento con la glicerina.

Ecuación Para el Cálculo

Cálculo de la densidad con un instrumento métrico: picnómetro.

$$\rho = \frac{m \text{ picnometro vacio} - m \text{ picnometro lleno}}{\text{volumen picnometro}}$$

Tabla 8.

Datos primer laboratorio

Hidróxido de Sodio (NaOH)		Hidróxido de Potasio (KOH)	
Densidad del aceite	0.928g/ml	Densidad del aceite	0.928 g/ml
Metanol	20 mL	Metanol	27.81 mL
Hidróxido de Sodio	0.80 g	Hidróxido de potasio	0.80 g
Peso Biodiesel	45.59 g	Peso glicerina	47.05 g
Densidad Biodiesel	0.0720 g/ mL	Densidad glicerina	0.958 g/mL
Peso biodiesel	0 g	Peso biodiesel	239 g
Peso biodiesel 24 horas	0	Peso biodiesel 24 horas	238 g
		Densidad del biocombustible	0.921 g/mL

Ecuación para el cálculo:

(1)

$$\% \text{ Rendimiento del Biocombustible} = \frac{\text{Volumen de Biocombustible obtenido [mL]}}{\text{Volumen de aceite domestico residual [mL]}} * 100 [\%]$$

$$\% \text{ Rendimiento de Biocombustible (KOH)} = \frac{90 \text{ [mL]}}{100 \text{ [mL]}} * 100 [\%] = 90 \%$$

Datos del Segundo Experimento

Figura 16



Nota: Fuente propia - Proceso de filtrado del aceite de cocina: En tela y en filtro de carbón activado.

En esta imagen se observa el aceite de cocina utilizado, el cual se filtra por medio de un filtro de tela y un embudo, este filtro lo utilizamos para eliminar residuos sólidos presentes en el

aceite. Luego se calienta agua, una vez este caliente la agregamos a un recipiente de vidrio junto con el aceite, agitamos la mezcla por un minuto creando una mezcla homogénea cremosa de color amarillo, dejamos reposar por 24 horas o hasta que el aceite se observe la separación de las dos fases de aceite y agua, dejando un sedimento en el fondo del recipiente.

Figura 17



Nota: Fuente propia - Aceite de cocina usado en dos fases con agua y sedimentación de partículas orgánicas.

Proceso final de separación del aceite (carbón, agua fría y comparación de los aceites).

Figura 18



Nota: Fuente propia - Preparación del aceite

Se calienta 200 g de aceite de cocina utilizado, previamente filtrado, en una plancha de calentamiento y agitación, hasta que este alcance una temperatura de $\pm 60 - 65$ °C. Se tapa con

papel aluminio para evitar pérdidas de energía y masa, introducimos un termómetro para controlar la temperatura.

Figura 19



Nota: Fuente propia - Proceso de macerado

En este paso debemos macerar el hidróxido de Sodio y el hidróxido de Potasio en morteros separados hasta obtener la pulverización del reactivo, luego pesar 0.8g de cada uno y transferir cuantitativamente a un vaso de precipitado de 100mL de forma individual, tapar con papel aluminio.

Figura 20



Nota: Fuente propia - Preparación del metóxido

En los vasos de precipitado de 100 mL de hidróxidos, anteriormente macerados, agregar a él hidróxido de Potasio 27.81 mL de metanol y al hidróxido de Sodio 20 mL, este proceso debe

realizarse en la campana de extracción, a la mezcla agregar un agitador magnético cubrir nuevamente con papel aluminio y llevar a la plancha de calentamiento y agitación hasta obtener una mezcla homogénea y a una temperatura de $\pm 60 - 65$ °C agregar al aceite.

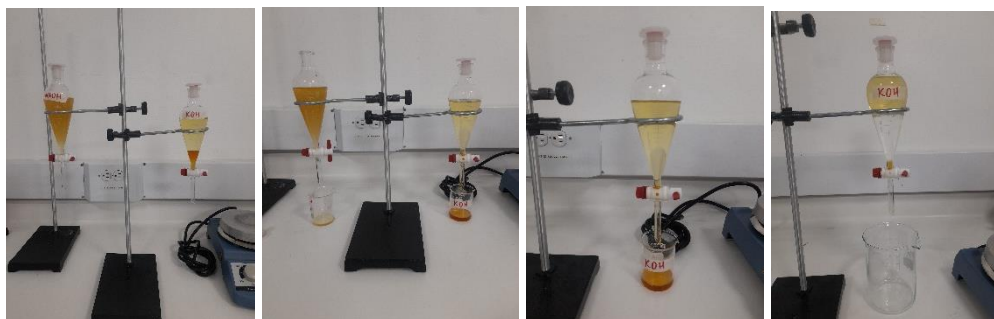
Figura 21



Nota: Fuente propia - Proceso de transesterificación.

Una vez el aceite de cocina utilizado y el metóxido se encuentren a una temperatura de $\pm 60 - 65$ °C. En dos vasos de precipitado de 500 mL, cada uno con 100 g de aceite, se agrega el metóxido de potasio y en el otro vacío de precipitado se agrega el metóxido de sodio, se agrega un agitador magnético a cada mezcla, se tapa con papel aluminio y se calienta por 16 minutos, simulando un reactor Batch en una plancha de calentamiento y agitación, se debe vigilar la temperatura entre 50 a 70 °C, transcurrido este tiempo dejar enfriar y vaciar la mezcla de reacción en el embudo de separación. Dejar reposar durante 24 horas.

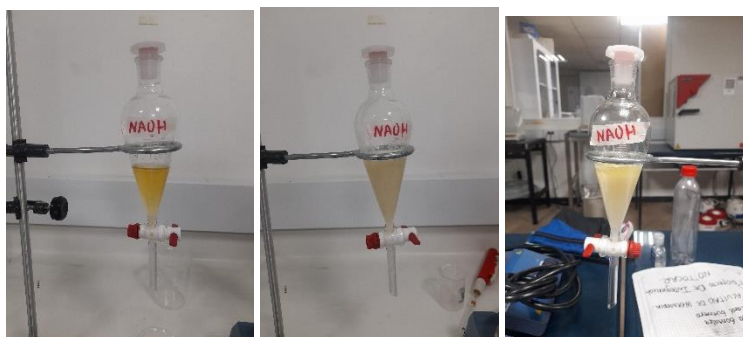
Figura 22



Nota: Fuente propia - Separación de biodiesel y glicerina metóxido de potasio.

Trascurridas las 24 horas abrimos la llave de cada uno de los embudos para separar la glicerina del biocombustible, pesamos la glicerina, enseguida lavar el combustible con agua destilada a 60°C, repetir este procedimiento hasta que el agua del enjuague contenga un pH de 7.

Figura 23



Nota: Fuente propia - Lavado del Hidróxido de Sodio (NaOH).

Después de la separación de la glicerina y el biocombustible obtenido con el metóxido de sodio, se realiza el lavado del combustible con agua destilada a 60 °C. Pero este reacciona con una mezcla lechosa, la cual no permite el proceso de lavado y secado respectivamente para dar el producto final, debido a que el Hidróxido de Sodio reacciona como una reacción de saponificación, convirtiendo la glicerina producida en jabón, por las propiedades fisicoquímicas del hidróxido de sodio se favorece más este tipo de reacción. (IQR, 2020).

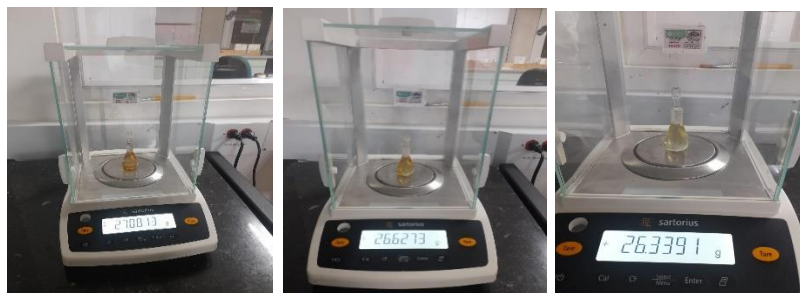
Figura 24



Nota: Fuente propia - Secado del biodiesel.

Finalmente extraemos el agua destilada que puede haber quedado al momento de ser lavado, para esto lo llevamos a una estufa a 60 °C durante 24 horas, pesamos el biodiesel antes y después de la estufa para calcular perdidas por calor. Calculamos el rendimiento de la reacción.

Figura 25



Nota: Fuente propia - Densidad del biocombustible

Después de retirar el biodiesel calculamos su densidad para esto utilizamos un picnómetro de 10.029 cm³ y un peso de 17.069 g, lavamos y repetimos este procedimiento con la glicerina.

Tabla 9.

Datos segundo laboratorio

Hidróxido de Sodio (NaOH)		Hidróxido de Potasio (KOH)	
Densidad del aceite	0.998g/ml	Densidad del aceite	0.998 g/ml

Metanol	27.81 mL	Metanol	27.81 mL
Hidróxido de Sodio	0.80 g	Hidróxido de potasio	0.80 g
Peso biocombustible	67.111g	Peso glicerina	57 g
Densidad biocombustible	0.953g/ mL	Densidad glicerina	0.953g/mL
Peso biodiesel	0 g	Peso combustible	272.0 g
Peso biodiesel 24 horas	0	Peso biocombustible 24 horas	270.99 g
		Densidad del Biocombustible	0.924 g/mL

Ecuaciones de calculo

(1)

$$\% \text{ Rendimiento de Biodiesel} = \frac{\text{Volumen de Biodiesel Obtenido [mL]}}{\text{Volumen de Aceite Domestico Residual [mL]}} * 100 [\%]$$

$$\% \text{ Rendimiento de Biodiesel (NaOH)} = \frac{98 \text{ [mL]}}{100 \text{ [mL]}} * 100 [\%] = 98 \%$$

Evaluación de Costos

Se estima que la generación de biocombustible a partir de aceite de cocina usado se realiza en dos fases la primera de manera experimental en proporción de laboratorio, la segunda el escalonamiento industrial de este ensayo. Se debe tener en cuenta las materias primas, la mano de obra, materiales y equipos utilizados en la práctica de laboratorio para considerar un proceso más grande. En los costos se incluye también el diseño de la planta y se debe proyectar un posible crecimiento y expansión de áreas, al igual que la publicidad, transporte y artículos misceláneos. Es importante también agregar la parte de residuos y regulación ambiental que se debe manejar a lo largo del proceso de transformación.

Como se mencionó anteriormente el proceso tendrá una primera fase la experimental en el laboratorio, a continuación, se describe la evaluación de costos:

Tabla 10.*Costos de operación*

Cantidad de personas Asignadas	Horas trabajadas individuales	Valor hora (V/h)	Valor total
Ingeniera química	4	\$10,400	\$41,600
Ingeniera en Energías	4	\$10,400	\$41,600
Mantenimiento	Proveedor	N/A	N/A
Valor total de operación			\$83,200

Tabla 11.*Costos directos*

Reactivos	Cantidad	Valor unitario		Valor total
Aceite de cocina	200g	N/A	N/A	N/A
Metanol	60 mL	\$55,000	3.5 Litros	\$55,000
Hidróxido de sodio	0.8g	\$139,999	1 kilo	\$139,999
Hidróxido de potasio	0.8g	\$89,900	2 kilo	\$89,900
Agua destilada	2L	\$60,000	20 litros	\$60,000
Valor total de costos directos		\$ 344,899		\$344,800

Tabla 12.*Costos indirectos*

Material o equipo	Cantidad	Valor unitario	Valor total	Referencia
Bascula	2	\$ 216,000	\$ 413,000	TS 500
Plancha de calentamiento y agitación	1	\$ 593,750	\$ 593,750	sh-2 magnetic stirrer
Embudo de decantación o separación (125 ml)	2	\$ 145,000	\$ 290,000	Brixco
Estufa	1	\$ 10,855,000	\$ 10,855,000	Memmert UN 30
Termómetro	2	\$ 90,000	\$ 180,000	Instrumentaría SAS
Vaso precipitado de 100 mL	2	\$ 21,500	\$ 43,000	Labvida 2021-100 ml
Vaso precipitado de 500 mL	4	\$ 19,900	\$ 79,600	Labscien
Espátula	2	\$ 11,900	\$ 23,800	Art Secret

Agitadores magnéticos	4	\$ 14,800	\$ 59,200	Labscient
Reloj de vidrio	2	\$ 15,000	\$ 30,000	Glassco
Soporte universal	1	\$ 89,990	\$ 89,900	Lbateco
Pinzas para termómetro	2	\$ 49,999	\$ 99,998	Labteco p. Bureta
Pinzas para embudo de decantación o separación	2	\$ 40,000	\$ 80,000	Genérica
Tiras reactivas de PH	N/A	\$ 89,900	\$ 89,900	Merck rango 0-14
Papel aluminio	N/A	\$ 14,900	\$ 14,900	Generico
Papel filtro	N/A	\$ 49,999	\$ 49,999	Boeco Germany
Picnómetro de 10mL	2	\$ 578,000	\$ 1,156,000	Alemana con certificado y calibrado
Mortero de porcelana	2	\$ 59,999	\$ 119,998	Labteco
Pipetas 10mm	2	\$ 6,000	\$ 12,000	H.B.G 1000-17
Pipeteador	2	\$ 45,999	\$ 91,998	Joanlab 10ml
Valor total		\$ 12.953.636	\$ 14.390.993	

Tabla 13.*Costos fijos.*

Servicio	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Agua	6 L	\$ 3,292	\$ 19,754
Luz		\$ 817,82	
Instalaciones	N/A	\$ 20'000.000	\$ 20'000.000
Total, costos fijos		\$20.101.536	\$ 20.019.756

Tabla 14.*Costo total de experimentación*

Costo	Total
Costos de operación	\$83,200
Costos directos	\$ 344,899
Costos indirectos	\$ 14.390.993
Costos fijos	\$ 20.019.756
Total	\$ 34.838.848

Con respecto a la fase industrial, este proceso se divide en cuatro etapas, cada etapa debe usar equipos diferentes que se describen a continuación en la evaluación de costos.

- Etapa 1. Purificación del aceite de cocina usado
- Etapa 2. Sección de reacción
- Etapa 3. Sección de refinación de Biodiesel
- Etapa 4. Sección de purificación de Glicerol

Tabla 15.

Equipos y máquinas para la planta de producción

Material o Equipo	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total	Referencia	Marca Comercial
Tanques de almacenamiento	6	\$ 11,834,500	\$ 71,007,000	-	SHENGD
Separados centrifugo	5	\$ 18,364,500	\$ 91,822,500	LWS	Fivemen
Reactor Batch con agitación	2	\$ 20,405,000	\$ 40,810,000	MT-12	JNBAN
Mezclador	3	\$ 24,486,000	\$ 73,458,000	-	Ailusi
Equipo de secado al vacío	2	\$ 36,729,000	\$ 73,458,000	-	XINGGAN
Columnas de destilación	2	\$ 26,526,500	\$ 53,100,000	10L-6000L	kinetic
Equipo de filtrado	1	\$ 26,500,000	\$ 26,500,000	6YL-100T	VIC
Total		\$ 164,485,000	\$ 430,155,500		

Tabla 16.

Costos de la materia prima

Material	kg/año	kg/h	Kg/kg MP
Agua	1,471,256	185,765	0,044
Metanol	3,636,078	459,101	0,109
NaOCH ₃	105,079	13,268	0,003
Aceite de cocina usado	33,634,775	4,246,815	1,007
Hidróxido de Sódico	14,275	1,802	0,000
Hidróxido de potasio	14,275	1,802	0,000

Tabla 17.

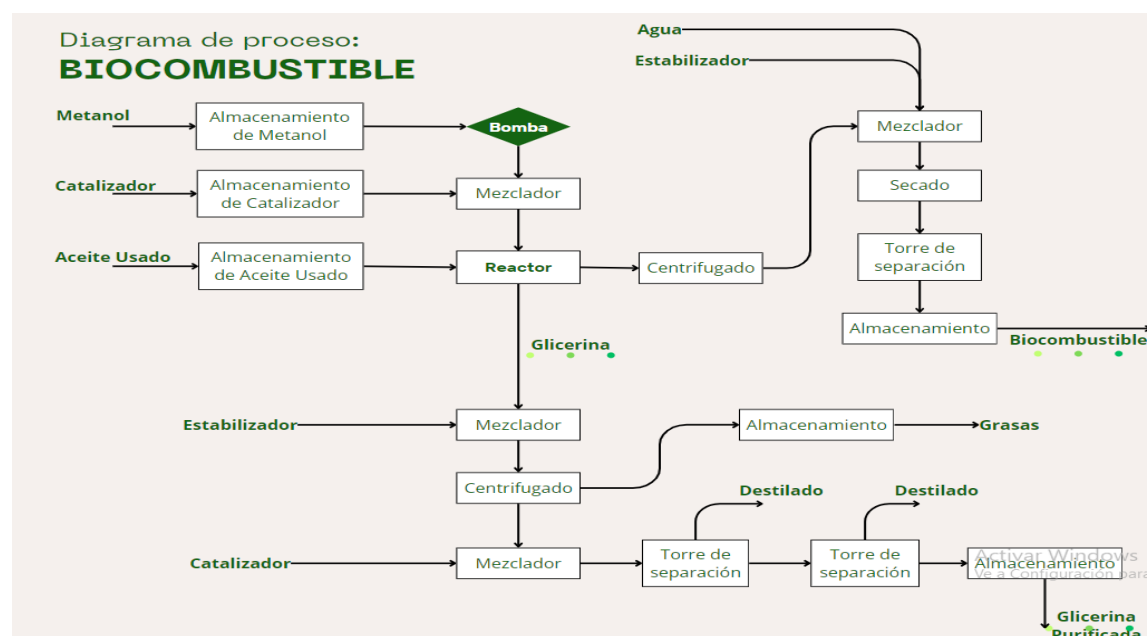
Resumen ejecutivo anual

Inversión total de capital	461'172,434,000	\$
Inversión de capital con cargo a este proyecto	461'172,434,000	\$
Costo de operación	90'683,901,000	\$/año
Ingresos principales	95'417,861,000	\$/año
Otros ingresos	51'371,62,800	\$/año
Ingresos totales	100'555,840,000	\$/año

Nota: La información de los costos de materia prima y operativos están basados en la versión de Super PRO Designer, programa de simulación de procesos en el cual se realiza la producción de Biocombustible a partir de aceite de soja.

Figura 26

Diagrama de bloques de la simulación de la producción de biocombustible.



Nota: Diagrama de bloques, simulador de procesos Super PRO Designer.

Conclusiones

En conclusión los hallazgos evidenciados durante la investigación es en primera instancia el tiempo determinado para cada proceso el cual debe ser exacto y constante, es decir la variación de temperatura y tiempo de agitación afectará el proceso de separación del glicerol y el biocombustible en el embudo de decantación, para lograr al máximo el rendimiento de la reacción de transesterificación, se identificó además la incidencia de la calidad del aceite influye en el rendimiento de la reacción, ya que las impurezas orgánica y las impurezas sólidas, afectan la calidad del biocombustible obtenido. Es indispensable mantener una temperatura y agitación constante al momento de agregar el metóxido al aceite de esto dependerá la cantidad de glicerina y biocombustible obtenido.

Se observo también la importancia del uso adecuado del catalizador para este proceso, debido a que este puede afectar la reacción química y afecta las propiedades físicas tanto del biocombustible como de la glicerina, en resumen, el metóxido de sodio reacciona favoreciendo más la reacción de saponificación produciendo más glicerol, dejando la mezcla más viscosa.

La proporción y gramaje de cada reactivo debe incorporarse de acuerdo con lo estipulado en el documento, por cada 100g de aceite de cocina se debe agregar 27,81mL de Metanol y 0.8g de sosa caustica en este caso, hidróxido de Potasio. Esto para lograr un rendimiento eficiente el en proceso de obtención, ya que al variar estas cantidades llegaremos a obtener más glicerina como resultado final o una no separación de los reactivos.

Los biocombustibles deben cumplir con la normativa nacional e internacional para poder ser comercializados, el biocombustible obtenido en los laboratorios de la universidad EAN, se realizaron pruebas fisicoquímicas con la medición de pH y densidad, sin embargo, se debe

realizar pruebas especiales como la compatibilidad de viscosidad en un motor Diesel y el rendimiento calorífico del combustible.

Referencias

- Serna, F. Barrera, L. Montiel, H. (2011). *Impacto social y económico en el uso de biocombustibles*. Universidad popular autónoma del estado de Puebla.
https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27242011000100009&script=sci_arttext&lng=pt
- Fernández Duran, R. (2006). *El inicio del fin de la era de los combustibles fósiles. Peak oil: mercado versus geopolítica y guerra*. Ecologistas en acción:
https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/adjuntos-spip/pdf/Inicio_del_fin_fosiles.pdf
- Observatorio ambiental de Bogotá. (2021). *Aceite de cocina, otra amenaza para los acuíferos*. Observatorio ambiental de Bogotá:
<https://oab.ambientebogota.gov.co/aceite-de-cocina-otra-amenaza-para-los-acuiferos/>
- Ecogras Colombia. (2020). *Infórmate #micocinacontamina*. Preguntas frecuentes:
<https://ecograscolombia.com/inf%C3%B3rmate#:~:text=S%C3%B3lo%20el%204%25%>
- Ruiz Rojas, A. (2023). *¿Sabes qué debes hacer con el aceite de cocina usado?*. Aquí te contamos. Alcaldía de Bogotá:
<https://bogota.gov.co/mi-ciudad/habitat/puntos-autorizados-para-llevar-el-aceite-de-cocina-usado-en-bogota>
- Mobimetrics (2023). *Frecuencia del consumo de aceite por los colombianos*. (Página web). Mobimetrics:
<https://mobimetrics.co/stats/frecuencia-de-consumo-de-aceite-de-cocina-por-los-colombianos/#:~:text=El%2084.3%25%20de>
- Juste, I. (2018, mayo 10). Ecología verde. *Que son los combustibles fósiles y como se formaron*.
<https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-combustibles-fosiles-y-como-se-formaron-1349.html>
- Nunez, C. (s.f.). National Geographic. *Medio ambiente: Explicación de que son los combustibles fósiles*.
<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/explicacion-que-son-combustibles-fosiles>
- Enciclopedia humanidades. (s.f.). *Revolución industrial*.
<https://humanidades.com/revolución-industrial/>
- Biografías y vidas, Enciclopedia biográfica en línea. (s.f.). *Rudolf Diesel*.
<https://www.biografiasyvidas.com/biografia/d/diesel.htm>

Revista, Motora a Diésel. (2020). *Origen del Biodiesel*.

<https://motoradiesel.com/dev/2011/08/origen-del-biodiesel/>

Farm Energy. (2019, april 3). *History of Biodiesel*.

<https://farm-energy.extension.org/history-of-biodiesel/>

Álvarez Maciel, C. (2009). *Biocombustibles: desarrollo historico-tecnologico*. mercados actuales y comercio internacional. Recuperado de:

<http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf>

Amaya Gámez, M. González Cadena, D. (2021). *Propuesta de aprovechamiento de aceites de cocina usados para la producción de biodiésel*. Estudio de cajo conjunto Murano II, barrio Mazurén, Bogotá D.C

https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/7086/Amaya_G%C3%A1mez_Mar%C3%ADa_Alejandra_2021.pdf?sequence=

Ministerio de Minas y Energía (2023). *La transición Energética Justa*.

<https://www.minenergia.gov.co/es/>

Universidad de Palermo. (s.f.). *Biodiesel*.

https://www.palermo.edu/economicas/pdf_economicas/Presentacion_biocom_Steinberg.pdf

Alejos, C. (2022). Linkendi.com. *¿Qué es el biodiésel y como se produce?*

<https://www.linkedin.com/pulse/como-se-produce-el-biodiesel-carlos-alejos-a/?originalSubdomain=es>

Dufour, J. (2012). *Energía y sostenibilidad. Biodiésel o Green diésel, ¿alternativas al diésel convencional?*

<https://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2012/02/24/131486>

Pontifica Universidad Javeriana (2012). *Hoja de datos de seguridad Hidróxido de Potasio*.

<https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015300/hidroxido+de+potasio+85%25+ccs.pdf/8b6496a3-8dbe-421b-aaf1-390b7db596df?version=1.0>

Ministerio de Ambiente y desarrollo (2004). *Ley 939 de 2004*.

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-939-2004.pdf>

L. López, J. Bocanegra y D. Malagón-Romero (2015). *Universidad Pontificia de la Javeriana “Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado”* Ing. Univ, vol. 19, no. 1, pp. 155-172

- <https://revistas.javeriana.edu.co › article › view>
- Ivet V. Falcón Ramírez¹, Tania E. Guerrero Vejarano (2018). *Reacción de transesterificación (imagen)*. Obtención de biodiesel a partir de aceite doméstico residual
- <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/viewFile/48/37>
- Quimipur, S.L.U. (2019). Glicerina 99,5 %. *Ficha de datos de seguridad*.
- <https://quimipur.com/pdf/glicerina-rev-4.pdf>
- International Energy Agency. (2022). *Precios récord, escasez de combustible, aumento de la pobreza, economías desacelerándose: la primera crisis energética que está siendo verdaderamente mundial*.
- <https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis?language=es#what-is-being-done>
- Conjunto LAR de México. (2019). *¿Qué es la glicerina y para qué sirve?*
- <https://www.conjuntolar.com/index.php/blog/post/que-es-y-para-que-sirve-la-glicerina#:~>
- Bolsa mercantil de Colombia. (2021). *Ficha técnica de bienes, productos o servicios. (Para MCP) o Ficha técnica de producto (Para MERCOP)*. Mezcla de aceite vegetal.
- https://mcp.bolsamercantil.com.co/ArchivosPublicados/PDF/PubId=87154_FTP
- Sierra Márquez, J. Sierra Márquez, L. Olivero Vergel, J. (2016). *Potencial económico de la palma aceitera*.
- [https://www.redalyc.org/journal/437/43750618016/html/#:~:text=En%20Colombia%2C%20las%20plantaciones%20de,%2C%20respectivamente%20\(Figura%201\)](https://www.redalyc.org/journal/437/43750618016/html/#:~:text=En%20Colombia%2C%20las%20plantaciones%20de,%2C%20respectivamente%20(Figura%201))
- Universidad Nacional Autónoma de México UNAM (2016). *Hoja de seguridad IX Metanol*.
- <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/9metanol.pdf>
- Universidad Nacional Autónoma de México UNAM (2008). *Hoja de seguridad II hidróxido de Sodio*.
- <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2008/05/2hsnaoh.pdf>
- Volckhausen, T. (2018). *Liberalización, guerrillas y acaparamiento de tierras: la historia de cómo creció el aceite de palma en Colombia*. Revista: Mongabay, periodismo ambiental independiente en Latinoamérica.
- <https://es.mongabay.com/2018/07/aceite-de-palma-en-colombia/>
- Fedepalma.org (s.f). *La palma de aceite en Colombia*.
- <https://fedepalma.org/zonas-palmeras/zona-norte/>

IQR. (2020). *¿Qué es la transesterificación?*, Ingeniería química.

<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/06/que-es-la-transesterificacion.html>

Khan Academy. (s.f). *Tipos de catalizadores*. Google classroom.

<https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/kinetics-ap/arrhenius-equation-mechanisms-ap/a/types-of-catalysts>

Made-in.china. (s.f). *Proveedores y productos*. Connecting Buyers with Chinese Suppliers.

<https://mcequipment.en.made-in-china.com/product/kSHJsAZTZyRI/China-ISO-Fuel-Diesel-Carbon-Steel-Storage-Tank-Container-Price.html>

Bodega en arrendamiento, Alcázares sector metrópolis, Bogotá D.C, Área 500M m² (s.f). *Metro cuadrado*.

<https://www.metrocuadrado.com/inmueble/arriendo-bodega-bogota-alcazares/412-M4647279>

Mercado Libre (s.f). *Comercio electrónico*.

<https://www.mercadolibre.com.co/institucional/hacemos/mercado-libre-nuestro-marketplace>

Universidad Ean. *Simulación de procesos Super PRO Designer*. Simulación de costos industriales.

ToxFAQsTM (s.f). *Hidróxido de sodio (Sodium Hydroxide)*. Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades.

https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts178.html#:~:text=El%20hidr%C3%B3xido%20de%20sodio%20se,%C3%B3xidos%2C%20galvanoplastia%20y%20extracci%C3%B3n%20electrol%C3%ADtica

IQR. (2020). *¿Qué es la saponificación?* Ingeniería química.

<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/07/saponificacion.html>

QuímicaIndustria.cl. (s.f.). *Hidróxido de potasio*.

<https://quimicaindustrial.cl/hidroxido-de-potasio/>