

# Obtención de biodiesel a partir de aceite de coco (*Cocos nucifera* L.)

## Obtaining biodiesel from coconout oil (*Cocos nucifera* L.)

Angelo Noé Marquínez Marquínez<sup>1</sup>, Nikolt Stephanie Loor Molina<sup>1</sup>, Carlos Wladimir Guamán Marquínez<sup>1</sup>, Jesús Alexander Vélez Vélez<sup>1</sup>, Karolayne Milena Solórzano Párraga<sup>1</sup>, Julia Katherine Rodríguez Cobeña<sup>1</sup>, María Antonieta Riera<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Estudiantes de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Carrera de Ingeniería Química, Universidad Técnica de Manabí, <sup>2</sup> Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí.

**Resumen** Los combustibles fósiles son mundialmente usados para satisfacer las necesidades energéticas de las naciones, agravando continuamente la situación ambiental por los efectos perjudiciales que estos causan. Una posible solución a esta situación, es el uso de biocombustibles de origen vegetal cuyas características se comparen favorablemente con las requeridas por los combustibles de motores de combustión interna. Bajo esta perspectiva y atendiendo las necesidades académicas, se desarrolló el presente trabajo dentro de la asignatura Balance de Masa, con el objetivo de obtener biodiesel a partir de aceite de coco y comparar los resultados obtenidos con experiencias previas similares. Para ello se llevó a cabo la extracción del aceite vegetal y posteriormente la reacción de transesterificación, donde se obtuvo el biodiesel. Los resultados obtenidos permitieron realizar el balance de masa de cada etapa del proceso, así como también determinar su rendimiento, el cual fue de 6,00% y 92,31% para la extracción del aceite y conversión a biodiesel, respectivamente. A través del trabajo realizado se comprobó que es viable utilizar el aceite de coco como materia prima para la producción de este biocombustible, sirviendo así como referente para investigaciones posteriores, donde se busque caracterizar el biodiesel para un análisis económico y factibilidad de producción del mismo.

**Palabras clave** Aceite de coco, biocombustible, biodiesel, balance de masa.

**Abstract** Fossil fuels are used worldwide to satisfy the energy needs of nations, continuously aggravating the environmental situation due to the harmful effects they cause. A possible solution to this situation is the use of biofuels of plant origin whose characteristics compare favorably with those required by the fuels of internal combustion engines. Under this perspective and attending to academic needs, the present work was carried within the Mass Balance course, with the aim of obtaining biodiesel from coconut oil and comparing the results obtained with similar previous experiences. For this, the extraction of vegetable oil was carried out and the transesterification reaction where biodiesel was obtained. The results obtained allowed the mass balance of each stage of the process to be carried out, as well as determine its yield, which was 6,00% and 92,31% for oil extraction and conversion to biodiesel, respectively. Through the work carried out, it was verified that it is feasible to use coconut oil as a raw material for the production of this biofuel, thus serving as a reference for subsequent research where biodiesel is sought to be characterized for an economic analysis and its production feasibility.

**Keywords** Coconut oil, biofuel, biodiesel, mass balance.

\* Corresponding author: [mriera@utm.edu.ec](mailto:mriera@utm.edu.ec)

### 1. Introducción

Si bien es cierto que la explotación petrolera ha traído consigo soluciones prácticas para la vida como es la producción de combustibles, no ha dejado de generar consecuencias ambientales que en algunos casos son irreversibles. Una de ellas son las emisiones atmosféricas, que incluyen un conjunto de contaminantes tóxicos entre ellos el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que es el gas de efecto invernadero más importante producido por el hombre y que altera el clima [1].

Pese a sus consecuencias inaceptables, los combustibles fósiles abastecen actualmente la mayor parte de las necesidades energéticas del mundo. Es por ello que los gobernantes junto con los investigadores, son los responsables de evaluar las fuentes alternas de energía que sean científicamente viables, ambientalmente aceptables y tecnológicamente prometedoras [2].

Un escenario posible ante esta problemática es el uso de combustibles basados en aceites vegetales nuevos o usados y grasas animales, que son recursos no tóxicos, biodegradables y renovables. Anteriormente, los combustibles provenientes de

aceites vegetales no eran aceptables, dado que superaban en costos a los de origen fósil. Sin embargo, recientemente el biodiesel se ha vuelto atractivo debido a sus beneficios ambientales [3].

El biodiesel es un biocombustible líquido resultante de la transesterificación de aceites vegetales o grasas animales, por modificación química, donde los ácidos grasos libres se neutralizan y la glicerina se ha eliminado de los ésteres reemplazándolos con un alcohol [4].

El biodiesel es un sustituto del diésel convencional que se obtiene a partir de fuentes renovables. En los últimos años su producción a bajo costo y con parámetros aceptables de calidad, se ha convertido en una actividad de interés económico, social y ambiental. Se caracteriza por generar menos gases de combustión en relación a los combustibles fósiles, al reducir CO<sub>2</sub> en un 10%, SO<sub>2</sub> cerca del 100% debido a la ausencia de azufre en el biodiesel, hollín entre 40-60%, CO entre 10-50%, hidrocarburos (HC) entre 10-50%, aldehídos y compuestos poliaromáticos en torno al 13% [5]. Otra ventaja de este biocombustible, es que aporta el triple de energía de la que se necesita para su producción. Desde el punto de vista de la inflamabilidad y toxicidad, es más seguro que el gas-oil proveniente del petróleo, no es tóxico y es biodegradable [6].

Su calidad al igual que los diésel comunes, depende de dos factores: La materia prima utilizada (tipo de aceite de origen vegetal) y la calidad del proceso de obtención [7]. Los aceites vegetales comúnmente empleados para la producción de este biocombustible, son los provenientes de semillas oleaginosas como el girasol, la colza, la soya, el coco y la palma [8].

Este aceite se ha considerado como materia prima alternativa para producir biodiesel con características similares al producido de aceites vegetales refinados, que además evita la competencia por el uso de la tierra para fines de alimentación [9]. El aceite de coco debido a su composición, es de color blanco y de consistencia sólida hasta temperaturas de 22 a 25 °C [10]. Es rico en ácidos grasos saturados de longitud de cadena media y dada su baja instauración, es una grasa muy estable. Químicamente 0,1% de su peso total, contiene 6% de ácido oleico monoinsaturado, 2% de ácido linoleico polinsaturado, 3% de ácido esteárico saturado, 9% de ácido palmítico saturado, 6% de ácido cáprico saturado y 47% ácido láurico saturado [6].

Tejada et. al. (2009) compararon las características del aceite de almendra, marañón, ajonjolí y coco, encontrando resultados satisfactorios con buenos rendimientos para el aceite de coco, por lo que se presenta como una buena alternativa para producción de este biocombustible [6]. Esta investigación se diferencia de la presente, en el método utilizado para la extracción del aceite de coco.

Otros trabajos experimentales evaluaron el uso de aceite de coco como estrategia en la producción de biocombustibles.

Una investigación en Malasia demostró que una mezcla con 30% de biodiesel de aceite de coco y diésel convencional en motores de combustión, produce una mayor potencia de frenado y una tasa neta de liberación de calor con una reducción neta en las emisiones de escape como HC, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), CO, humo e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), en comparación con diésel sin mezclar [11].

En un estudio similar se emplearon diferentes mezclas de biodiesel convertidas a partir de aceite de coco y se analizó su rendimiento en un pequeño motor diésel. Se encontró que el biodiesel tiene propiedades ligeramente diferentes que el diésel y que es capaz de hacer funcionar un motor sin dificultad. Incluso, fue posible realizar una comparación del rendimiento del motor para diferentes mezclas de biodiesel y así determinar la combinación óptima en diferentes condiciones de operación [12].

El biodiesel resulta ser un combustible alternativo con buenos resultados para el funcionamiento de motores y calderas, con beneficios ambientales al reducir las emisiones totales netas de CO<sub>2</sub> [13].

Basado en estos señalamientos, así como en la necesidad de buscar alternativas energéticas, capaz de sustituir y minimizar el consumo de combustibles fósiles, surgió el presente trabajo con el propósito de obtener biodiesel a partir de aceite de coco. Para ello se extrajo el aceite de coco, el cual posteriormente se empleó para llevar a cabo una reacción de transesterificación. La información obtenida a escala de laboratorio, permitió realizar un balance de masa y con ella calcular el rendimiento del proceso para la producción de combustible con el procedimiento empleado.

## 2. Materiales y métodos

Inicialmente se adquirió el fruto en un mercado local de la ciudad de Portoviejo, Ecuador. Para ello se seleccionaron cocos secos (cuando su coloración se torna café), por ser allí cuando está listo para ser procesado y extraer el aceite [14].

### 2.1 Extracción del aceite de coco

Para la extracción de aceite de coco se siguió el procedimiento descrito por Dasilva y otros (2017) [14], que comenzó con el corte de la corteza, para retirar el agua y la pulpa. Tanto la corteza como la pulpa se pesaron en una balanza analítica Sartorius Modelo CP2245 y esta última se cortó en pequeños trozos. La humedad presente en la pulpa de coco, se determinó usando una termobalanza Boeco Germani modelo BMA I50.

A continuación, se redujo el tamaño de partícula para lo cual se colocó la pulpa junto con el agua de coco anteriormente extraída, en un triturador mezclador Oster modelo 465-42 (figura 1). La mezcla resultante conocida como leche de coco,

se filtró para separar en su totalidad la parte líquida de la pulpa sólida.



Figura 1. Reducción de partícula de la pulpa coco.

Una vez realizado dicho proceso, toda la mezcla obtenida se dejó en reposo durante 24 horas para separar la grasa del agua contenida en la leche de coco. La grasa recuperada se trasladó a una placa de calentamiento Thermo Scientific Modelo SP-131325 y con constante agitación, se logró evaporar el agua que aún se encontraba presente (figura 2).



Figura 2. Evaporación del agua en la grasa del coco.

El rendimiento del proceso se determinó a partir de la cantidad de aceite obtenida en relación a la pulpa utilizada [15], usando para ello la ecuación (1):

$$\%Rendimiento = \frac{\text{masa aceite extraída}}{\text{masa muestra utilizada}} \times 100\% \quad (1)$$

Con el método UNE-EN ISO 660:2010 [16] se determinó el grado de acidez y el índice de acidez al aceite extraído, con las ecuaciones (2) y (3) respectivamente.

$$\%Ac = \frac{C_T \times N_t \times MeQ}{\text{Volumen o peso muestra}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Índice de acidez} = \%Ac \times 1,99 \quad (3)$$

Donde %Ac es porcentaje de acidez,  $C_T$  corresponde al consumo del titulante,  $N_t$  normalidad del titulante, el MeQ al mili equivalente del analito.

## 2.2 Producción de biocombustible

Siguiendo la metodología descrita por Gutiérrez et. al (2015) [5] se procedió a obtener el biocombustible. Para ello se pesó 176,9 g del aceite extraído, 1,77 g de hidróxido de sodio (NaOH) y 22,8 g de metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ). Con la ayuda de un mortero y pistilo se trituró el hidróxido de sodio, se añadió el metanol y con una varilla de agitación se homogenizó hasta formar el metóxido.

El aceite pesado y el metóxido formado se traspasaron a un matraz kitasato el cual se conectó a un tubo condensador y se colocó en una placa de calentamiento con agitación durante 60 minutos (figura 3), cuidando que la temperatura no sobrepasara los  $60^\circ\text{C}$ . Pasado el tiempo señalado, se observó que se llevó a cabo reacción de transesterificación.



Figura 3. Vertido de metóxido y aceite en kitasato. Fuente: Autor

Posteriormente se retiró el matraz de la placa, se separó del tubo condensador y se sometió a enfriamiento durante cinco minutos a temperatura ambiente. La reacción del aceite y el metóxido se trasladó a un embudo de decantación donde se dejó reposar por 24 horas y pasado este tiempo, se observó en la parte inferior del embudo la glicerina formada por la reacción de transesterificación y en su parte superior el biocombustible (figura 4).



Figura 4. Productos formados en el embudo de decantación.

Con el propósito de limpiar el biocombustible obtenido y eliminar las trazas de glicerina e hidróxido de sodio sin reaccionar, se realizaron seis lavados con agua caliente (50 °C) vertiendo para ello el agua en alícuotas de 100 mL cada una, sobre el decantador donde yacía el biodiesel. Finalmente, el biocombustible se retiró del decantador y se colocó en un vaso de precipitado. Para retirar el agua presente, se llevó a un horno de calentamiento y secado Memmert Modelo SN 55, durante 84 minutos a una temperatura de 96,2 °C. Cumplido el tiempo, el biocombustible se dejó enfriar, se pesó y se traspasó a un recipiente de vidrio el cual se procedió a rotular. De la misma manera, se procedió a pesar, envasar y rotular la glicerina obtenida (figura 5).



Figura 5. Biocombustible y glicerina envasados y rotulados.

El porcentaje de biodiesel obtenido se cuantificó a partir de la cantidad de aceite obtenida por cantidad de aceite consumida en la reacción [7]. La ecuación (4) se utilizó para calcular el % de rendimiento de la reacción.

$$\% \text{ Rendimiento bio} = \frac{\text{masa biodiesel}}{\text{masa aceite}} \times 100\% \quad (4)$$

### 2.3 Balance de masa del proceso estudiado

Para la determinación cuantitativa de los productos formados en cada etapa del proceso realizado, se procedió a realizar un balance de masa [17], en donde se aplicó la ecuación (5) de la ley de la conservación de la masa en estado

estacionario con reacción química en la etapa de transesterificación (figura 6).

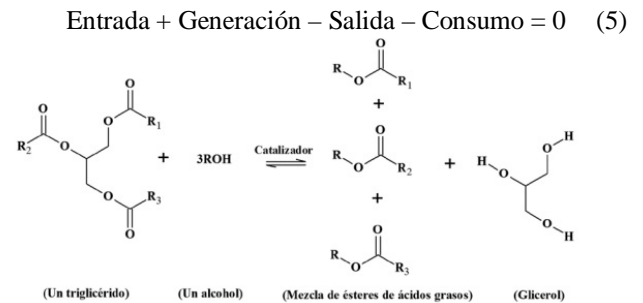


Figura 6. Reacción de transesterificación.

Fuente: Castellar et al. (2014) [18]

## 3. Resultados y discusión

El proceso de extracción de aceite de coco quedó conformado por las operaciones unitarias: Pelado, mezclado – triturado, filtrado y evaporación (figura 7), donde se representa el valor de cada flujo másico  $m_i$ , además de las fracciones másicas  $X_i$ . Para este último,  $X_{ag}$  es la fracción másica del agua,  $X_p$  de la pulpa,  $X_{cas}$  de la cáscara y  $X_{ac}$  del aceite. Con los datos experimentales, se procedió a encontrar a través de balance de masa las corrientes desconocidas y las respectivas fracciones másicas.

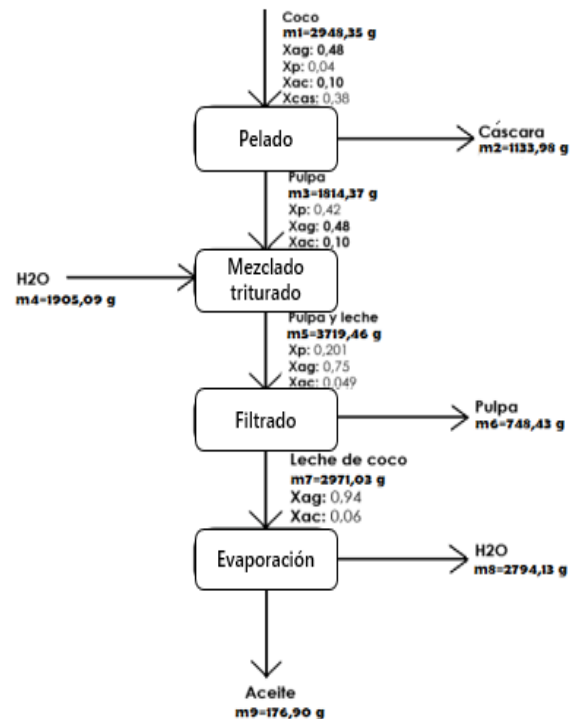


Figura 7. Diagrama de bloques para la extracción de aceite de coco.



Con una alimentación de 2948,35 g de pulpa de coco se obtuvieron 176,90 g de aceite que, de acuerdo a (1) representa un 6% de rendimiento. Este valor resulta ser bajo, si se compara con lo obtenido por Gómez et. al. (2018) [19], que fue de 29,09%. Tal diferencia pudo estar influenciada por la temperatura de trabajo en la extracción, la cual fue de  $80 \pm 5$  °C, además del tipo de filtración usada que fue de membrana, con el cual se pueden aumentar los niveles de rendimiento. Esto coincide con lo reportado por Rivera et. al [20], quienes consiguieron rendimientos que variaron de 6,10% a 38,8%, dependiendo del solvente usado en la extracción (acetato de etilo y hexano) y de la temperatura de trabajo utilizada. De este modo, se evidencia que el rendimiento en la extracción del aceite de coco está influenciado por las condiciones operacionales bajo la cual se lleva a cabo.

Con las ecuaciones (2) y (3) se determinó el porcentaje de acidez y el índice de acidez, que fueron de 0,18% y 0,36 mg KOH/g grasa, respectivamente. Se ha comprobado que para llevar a cabo la reacción de metanolisis básica, se requiere que los valores de acidez sean menores al 3% [21]. Además la baja acidez encontrada para el aceite de coco, favorece la eficiencia en la conversión a biodiesel [7].

En cuanto al proceso para la obtención de biodiesel, quedó representado por un diagrama de bloques (figura 8), cuyas operaciones unitarias fueron: transesterificación, decantación y evaporación. Los valores de las corrientes quedaron expresadas en moles ( $n_i$ ) y sus composiciones en fracciones molares ( $Y_i$ ); donde,  $Y_{sod}$  representa la fracción de sodio,  $Y_{met}$  del metanol,  $Y_{ac}$  del aceite y  $Y_{ag}$  del agua. Las fracciones del biocombustible ( $Y_{bio}$ ) y de la glicerina ( $Y_{gli}$ ). Los cálculos fueron expresados en moles por incluir un proceso químico, para lo cual fue necesario transformar las cantidades máxicas a moles haciendo uso de la masa molar de cada especie química.

A partir de 0,39 lb de aceite de coco y 5,26 lb de metóxido se obtuvieron 0,36 lb de biocombustible. Usando (4) se conoció que el rendimiento de este proceso fue de 92,31%. El rendimiento en la obtención del biodiesel se favoreció por la temperatura de operación y tiempo de reacción empleado. Guarenas y Chirinos (2007), señalan que se obtiene mayor porcentaje en la conversión del éster cuando se trabaja a temperatura 60 °C y con tiempos de reacción de 60 min [7].

Resultados entre 78,88% y 83,26% fueron encontrados por Guarenas y Chirinos [7], al trabajar con proporciones similares entre el aceite de coco y el metóxido y bajo parecidas condiciones de operación. De la misma manera, Avellaneda [22] alcanzó un rendimiento de 86,60% en la producción de biodiesel de palma y de aceite reciclado al trabajar con relación molar metanol: aceite de 6:1, evidenciando que se trata de un parámetro de influencia en el rendimiento de la reacción de transesterificación y por ende, en la cantidad producida de biodiesel.

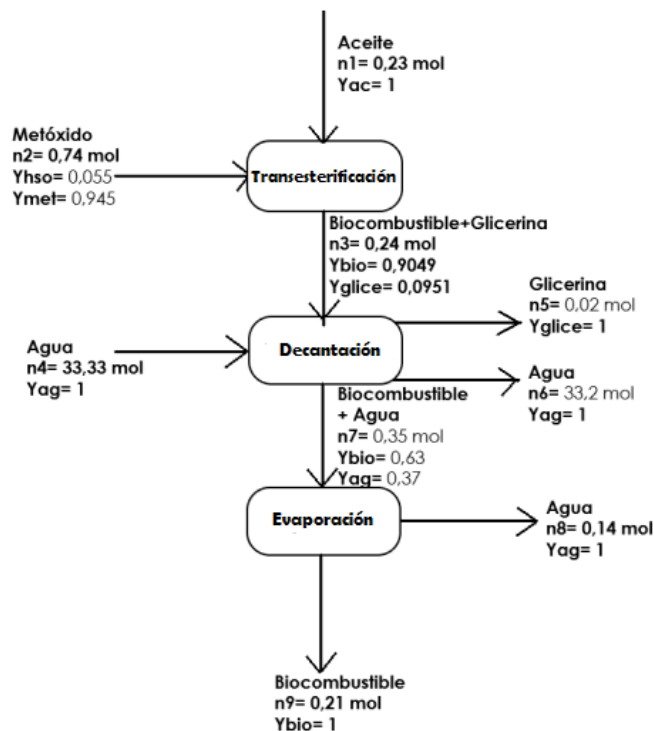


Figura 8. Diagrama de bloques para la obtención de biodiesel.

## 4. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos experimentalmente durante los procesos de extracción de aceite de coco y posterior obtención de biocombustible, se dedujo que el proceso estudiado representa una alternativa viable para la producción de combustibles sustitutos a los convencionales que contribuyan con la conservación del medio ambiente. Aunque el rendimiento de la extracción del aceite de coco fue de 6%, su porcentaje de acidez inferior al 3%, favoreció la obtención de biodiesel cuyo rendimiento fue superior al 90%, siendo este un resultado promisorio y de interés para ser estudiado desde el punto de vista económico con el objetivo de ser escalado a nivel industrial.

## REFERENCIAS

- [1] F. Perera, "Pollution from fossil-fuel combustion is the leading environmental threat to global pediatric health and equity: Solutions exist," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 16, pp. 1–17, 2018.
- [2] M. S. Dresselhaus and I. L. Thomas, "Alternative energy technologies," *Nature*, vol. 414, pp. 332–337, 2001.
- [3] K. Bozbas, "Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 12, no. 2, pp. 542–552, 2008.
- [4] P. Martin, *Grow fuel: Biodiesel in the practice*. 2008.
- [5] C. C. Gutiérrez J., Miranda J. A., Palacios R., "Producción de combustible Biodiesel alternativo sustentable con biomasa y aceite de coco," *Rev. Energía Química y Física*, vol. 2, no. 3, pp.

- 330–337, 2015.
- [6] C. N. Tejada *et al.*, “Alternativas para la obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales - coco, almendras, ajonjolí y marañón,” in *Memorias del IV Simposio de Química Aplicada – SIQUIA 2009*, 2009, p. 8.
- [7] A. Guarenas M. and A. Chirinos, “Producción de Biodiesel de aceite de coco artesanal de una población del Estado Falcón,” *PROSPECTIVA*, vol. 5, no. 2, pp. 16–23, 2007.
- [8] M. M. Villadiego, Y. O. Roa, and L. T. Benítez, “Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel,” *Luna Azul*, vol. 40, pp. 25–34, 2015.
- [9] I. E. Medina R., N. A. Chávez V., and J. Jáuregui R., “Biodiesel, un combustible renovable,” *Investig. Cienc.*, vol. 20, no. 50, pp. 62–70, 2012.
- [10] D. Granados Sánchez and G. F. López Ríos, “Manejo de la palma de coco (cocos nucifera L.) en México,” *Rev. Chapingo Ser. Ciencias For. y del Ambient.*, vol. 8, no. 1, pp. 39–48, 2002.
- [11] M. A. Kalam, M. Husnawan, and H. H. Masjuki, “Exhaust emission and combustion evaluation of coconut oil-powered indirect injection diesel engine,” *Renew. Energy*, vol. 28, no. 15, pp. 2405–2415, 2003.
- [12] M. A. Hossain, S. M. Chowdhury, Y. Rekh, K. S. Faraz, and M. U. Islam, “Biodiesel from coconut oil: a renewable alternative fuel for diesel engine,” *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 68, no. 8, pp. 1289–1293, 2012.
- [13] C. Carraretto, A. Macor, A. Mirandola, A. Stoppato, and S. Tonon, “Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations,” *Energy*, vol. 29, no. 12–15, pp. 2195–2211, 2004.
- [14] C. Dasilva, F. Restrepo, I. Peralta, M. Vásquez, M. Portuna, and Y. Arango, “Extracción de aceite de Coco (Cocos nucifera) como estrategias de aprovechamiento de los productos locales de Mitú,” *Vaupés Innova*, vol. 1, pp. 82–89, 2017.
- [15] C. Hernández and A. Mieres P., “Extracción y purificación del aceite de la almendra del fruto de la palma de corozo (Acrocomia aculeata),” *Rev. Ing. UC*, vol. 12, no. 1, pp. 68–75, 2005.
- [16] Norma UNE-EN ISO 660:2000, “Aceites y grasas de origen animal y vegetal. Determinación del índice de acidez y de la acidez.” Madrid, 2000.
- [17] R. M. Felder and Ronald W. Rousseau, *Principios elementales de los procesos químicos*, vol. 33. 2004.
- [18] G. C. Castellar O., E. R. Angulo M., and B. M. Cardozo A., “Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos,” *Prospectiva*, vol. 12, no. 2, pp. 90–104, 2014.
- [19] M. Gómez-Matos, M. González-Pérez, Y. García-Hernández, R. Vicente-Murillo, V. L. González-Canavaciolo, and C. Rodríguez-Martínez, “Caracterización de aceite extraído del fruto de Cocos nucifera obtenido a escala de laboratorio Characterization of oil extracted from Cocos nucifera fruit obtained at laboratory scale,” *CENIC Ciencias Químicas*, vol. 49, pp. 1–13, 2018.
- [20] J. R. Rivera H., J. M. Lomelí S., L. Román S., and F. Vera F., “Extracción de aceite de coco a partir de la copra por medio de disolventes químicos,” *Concienc. Tecnológica*, vol. 17, 2001.
- [21] P. N. Benjumea H., J. R. Agudelo S., and G. J. Cano, “Estudio experimental de las variables que afectan la reacción de transesterificación del aceite crudo de palma para la producción de biodiesel,” *Sci. Tech.*, vol. 10, no. 24, pp. 169–174, 2004.
- [22] F. A. Avellaneda Vargas, “Producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal,” *Universitat Rovira I Virgili*, 2010.