



*Estudio del aprovechamiento de afrecho de café para la obtención de biodiesel*

*Study of the use of coffee bran to obtain biodiesel*

*Estudo da utilização do farelo de café para obtenção de biodiesel*

Magna Angélica Gutiérrez-Rodas <sup>I</sup>  
[mgutierrez@uagraria.edu.ec](mailto:mgutierrez@uagraria.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-8165-5911>

Cristian Andrés Flores-Cadena <sup>II</sup>  
[cflores@uagraria.edu.ec](mailto:cflores@uagraria.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-4071-7228>

Daniel Borbor-Suárez <sup>III</sup>  
[dborbor@uagraria.edu.ec](mailto:dborbor@uagraria.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-6611-4911>

**Correspondencia:** [mgutierrez@uagraria.edu.ec](mailto:mgutierrez@uagraria.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\***Recibido:** 23 de febrero de 2023 \***Aceptado:** 17 de abril de 2023 \* **Publicado:** 11 de mayo de 2023

- I. Máster en Procesamientos de Alimentos, Ingeniera Agrícola Mención Agroindustrial, Docente Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Guayaquil, Ecuador.
- II. Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Guayaquil, Ecuador.
- III. Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Guayaquil, Ecuador.

## Resumen

Se realizó el estudio totalmente descriptivo de las condiciones del proceso con el objetivo de obtener el biodiésel a partir del afrecho de café. Se consideraron las temperaturas de secado del afrecho a 70, 90 y 110 °C y los tiempos de extracción que permitieron obtener el mayor rendimiento de aceite de café. Mediante fuente bibliográfica se logró determinar el porcentaje de aceite extraído, se efectuó la extracción por el método de Butt con hexano como solvente en una proporción (p/v) 1:5, a intervalos de tiempo de 10, 15, 20, 30 y 45 minutos. El aceite se sometió a caracterización físico – química mediante las pruebas de densidad relativa, índices de acidez, saponificación, yodo y peróxidos. Se determinó que el mejor rendimiento de extracción de aceite (11,25 %) se obtuvo con secado a 110 °C y tiempo de extracción de 45 minutos. Para determinar el efecto del catalizador y de la relación alcohol/aceite en la transesterificación se planteó un diseño factorial 32 con dos réplicas: los factores fueron la cantidad de catalizador y la relación alcohol/aceite, cada uno de estos factores con tres niveles: 0,5, 1,0 y 1,5 % (p/p) y 4:1, 6:1 y 8:1 (mol/mol) respectivamente. De la transesterificación y análisis estadístico se obtuvo que la interacción del catalizador en la relación 1,5 % p/p con respecto a la masa de aceite utilizada y el metanol en la relación molar 8:1 con respecto al mismo aceite producen un rendimiento en conversión del aceite de café a biodiésel del 97,46 %.

**Palabras Claves:** Afrecho; Café; Biodiesel.

## Abstract

A fully descriptive study was conducted to obtain biodiesel from coffee bran. The drying temperatures of the bran at 70, 90, and 110 °C were considered, as well as the extraction times that allowed for the highest coffee oil yield. The percentage of extracted oil was determined through bibliographic sources, using the Butt method with hexane as the solvent in a (w/v) ratio of 1:5, at time intervals of 10, 15, 20, 30, and 45 minutes. The oil was subjected to physical-chemical characterization through tests of relative density, acidity, saponification, iodine, and peroxides. It was determined that the best oil extraction yield (11.25%) was obtained with drying at 110 °C and an extraction time of 45 minutes.

To determine the effect of the catalyst and alcohol/oil ratio on transesterification, a 32 factorial design with two replications was proposed. The factors were the amount of catalyst and the

alcohol/oil ratio, each with three levels: 0.5, 1.0, and 1.5% (w/w) and 4:1, 6:1, and 8:1 (mol/mol) respectively. From transesterification and statistical analysis, it was obtained that the interaction of the catalyst at a 1.5% w/w ratio with respect to the mass of oil used and methanol at an 8:1 molar ratio with respect to the same oil produced a conversion yield of 97.46% of coffee oil to biodiesel.

**Keywords:** Bran; Coffee; Biodiesel.

## Resumo

Um estudo totalmente descritivo das condições do processo foi realizado com o objetivo de obter biodiesel a partir do farelo de café. Foram consideradas as temperaturas de secagem do farelo a 70, 90 e 110 °C e os tempos de extração que permitiram obter o maior rendimento de óleo de café. Utilizando fonte bibliográfica foi possível determinar a porcentagem de óleo extraído, a extração foi realizada pelo método Butt com hexano como solvente na proporção (p/v) 1:5, em intervalos de tempo de 10, 15, 20, 30 e 45 minutos. O óleo foi submetido à caracterização físico-química por meio dos testes de densidade relativa, índices de acidez, saponificação, iodo e peróxidos. Foi determinado que o melhor rendimento de extração de óleo (11,25%) foi obtido com secagem a 110 °C e tempo de extração de 45 minutos. Para determinar o efeito do catalisador e da relação álcool/óleo na transesterificação, foi utilizado um planejamento fatorial 32 com duas repetições: os fatores foram a quantidade de catalisador e a relação álcool/óleo, cada um desses fatores com três níveis: 0,5, 1,0 e 1,5% (p/p) e 4:1, 6:1 e 8:1 (mol/mol) respectivamente. A partir da transesterificação e análise estatística obteve-se que a interação do catalisador no 1,5% p/p em relação à massa de óleo utilizado e metanol na proporção molar de 8:1 em relação ao mesmo óleo produzem um rendimento de conversão de óleo de café em biodiesel de 97,46%.

**Palavras-chave:** Farelo; Café; Biodiesel.

## Introducción

Las exportaciones de café industrializado en el Ecuador generan un ingreso importante para la economía; pero también generan una gran cantidad de residuos que no son aprovechados completamente. Según el CENICAFE (2010), por cada kilogramo de café en verde se obtiene el 40 % de café industrializado mediante un proceso de extracción que deja un residuo no soluble, denominado afrecho o “concho”, que representa aproximadamente el 10 % del producto en fresco, residuo que no se aprovecha ni genera beneficios. En el año 2014, el Ecuador exportó

aproximadamente 58834,72 toneladas de café industrializado, (ANECAFE, 2015) lo que habría generado para ese mismo año alrededor de 130 743,82 kg de afrecho solubilizante. El afrecho generado en la producción de café soluble en Ecuador se destina a usos como: abono de plantas o consumo animal, sin embargo, una gran cantidad no tiene uso definido y se acumula o se elimina como desecho sólido, lo que significa un problema ambiental. De ahí la importancia de dar uso a este residuo y producir a partir de este un biocombustible (Figueroa, 2011).

El mercado del biodiésel en el mundo presenta buenas perspectivas y en Ecuador se reporta un incremento en la demanda por parte de países que utilizan este biocombustible. En el año 2006, Estados Unidos importó 45 millones de galones de biodiesel a partir de aceite de palma desde el Ecuador y en el 2007 importó más de 100 millones de galones (Dufey, 2006, p.15). Según datos de la Fundación de fomento de las exportaciones de aceite de palma y sus derivados (FEDAPAL), en el año 2013, el 8 % de las exportaciones de aceite de palma y sus derivados corresponde al biodiésel, y en el año 2014 el porcentaje se incrementó al 17 % (FEDAPAL, 2015).

El biodiésel presenta ventajas respecto a combustibles similares, ya que aporta un mayor contenido de oxígeno y cetanos que el diésel, lo que implica una mejor combustión traducida en una eficiencia energética igual o superior al combustible de origen fósil (IICA, 2007).

El afrecho de café es el producto que resulta de la torrefacción o percolado en la preparación del café soluble. Debido a su composición química tiene un alto contenido de grasas, que pueden extraerse y posteriormente derivar en biocombustible (Valencia, 2000). El biodiésel producido a partir del aceite que se obtiene del afrecho de café es más estable y de lenta degradación que el biodiésel convencional por su alto contenido de antioxidantes (King, 2010, p. 243).

La importancia de la obtención del biodiésel a partir del afrecho de café radica en que se hace uso de un residuo subutilizado rico en aceite al que se le da un valor agregado al transformarlo en biocombustible, y se reduce el efecto negativo que tiene sobre el medio ambiente.

En el presente estudio se determinan las condiciones de secado y extracción de aceite a partir de afrecho de café, el efecto del catalizador y la concentración de alcohol en la etapa de transesterificación y se define un diseño básico de planta para la producción del biocombustible.

## Materiales y métodos

Se empleó afrecho de café obtenido de las industrias elaboradoras de café soluble ubicadas en las provincias de Guayas y Manabí en el Litoral Ecuatoriano. La materia prima fue recolectada, mezclada y almacenada.

Para la extracción del aceite del afrecho de café se empleó hexano como solvente, mientras que para los diferentes ensayos de transesterificación se utilizó metanol y un catalizador homogéneo básico. Las características de estos reactivos se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Características de los reactivos utilizados en los procesos de obtención del biodiesel*

<b>REACTIVO</b>	<b>PM (g/mol)</b>	<b>PUREZA (%)</b>	<b>PROVEEDOR</b>
Hexano	86,17	96	Shell Chemical Company
KOH	56,11	84	E. Merck
Metanol	32,04	99	LabGuard

## Determinación de las condiciones de secado y extracción de aceite a partir de afrecho de café

### Secado

Para determinar las condiciones óptimas de secado y extracción del aceite a partir del afrecho de café, primero se realizó una caracterización química del afrecho de café, mediante la determinación de humedad, proteína, extracto etéreo y cenizas a través de los métodos AOAC: 934.01, 2001.11, 920.39 y 923.03 respectivamente y carbohidratos totales por diferencia. Para la caracterización se envió el afrecho de café al Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología de la Escuela Politécnica Nacional para su caracterización.

Una vez caracterizada la materia prima, se determinaron las condiciones de secado del afrecho. Se obtuvo curvas de secado a 70, 90 y 110 °C en una estufa P. Selecta con circulación de aire caliente. Para cada proceso de secado se utilizaron 100 gramos de afrecho, se registró la pérdida de peso y humedad en una balanza digital A. E. Adam cada 15 minutos, hasta llegar a peso constante. Se realizaron 3 repeticiones y con los datos obtenidos se construyeron la curva que relaciona la humedad en función del tiempo y la curva que relaciona la velocidad de secado en función de la humedad para cada temperatura establecida.

Las muestras secas fueron molidas en un molino de disco manual marca Corona, a fin de que las partículas del afrecho presentaran uniformidad y facilidad para la extracción.

### **Extracción de aceite de café**

Para cada condición de secado se efectuó la extracción de aceite de café por el método de Butt en una unidad experimental adaptada para tal propósito como se observa en el Anexo I. La relación café seco y solvente fue 1:5 (p/v), en tanto que los intervalos de tiempo de extracción fueron 10, 15, 20, 30 y 45 minutos (Dutta, 2007, p. 477 - 482).

Se determinaron la temperatura de secado y el tiempo de extracción que permitieron obtener el mayor rendimiento de aceite de café; expresado como gramos de aceite por gramos de afrecho seco.

Adicionalmente, se evaluó la extracción de aceite en una muestra húmeda, para lo cual se prepararon, por separado, cartuchos de extracción con aproximadamente 20 gramos del afrecho de café seco y también cartuchos con 20 g de afrecho de café húmedo a fin de comparar resultados en la obtención de aceite. Se cubrió cada cartucho con un tapón de algodón y se colocaron en el interior de un tubo Butt.

Se armó la unidad de extracción, conformada por el balón con el hexano, el tubo Butt con el cartucho y la muestra, y por la parte superior del tubo Butt se acopló un tubo refrigerante.

Luego de la extracción, la mezcla obtenida se dispuso en un equipo de destilación para separar el aceite del solvente.

La destilación concluyó cuando el solvente se evaporó y quedó el aceite. Se retiró el balón con el aceite, se dejó enfriar y se procedió a pesar para verificar la cantidad de aceite obtenido.

### **Determinación de propiedades físico – químicas del aceite de café**

El aceite crudo de café obtenido se sometió a una caracterización físico–química. Las propiedades evaluadas y normas utilizadas para cada una se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.***Propiedades evaluadas en el aceite de café de acuerdo con las normas INEN*

<b>PROPIEDADES</b>	<b>NORMA INEN NTE</b>
Densidad relativa	0035:73
Índice de acidez	0038:73
Índice de saponificación	0040:73
Índice de yodo	0037:73
Índice de peróxidos	0277:78

Fuente: INEN, 2001

### **Determinación del efecto del catalizador y la concentración de alcohol en la etapa de transesterificación en el proceso de obtención de biodiésel**

Para determinar el efecto del catalizador y de la relación alcohol/aceite en la transesterificación, se planteó un diseño experimental factorial 3<sup>2</sup> con tres réplicas, los factores fueron: la cantidad de catalizador y la relación alcohol/aceite, cada uno de estos factores con tres niveles; 0,5; 1,0 y 1,5 % p/p para el catalizador y 4:1, 6:1, 8:1 para la relación alcohol/aceite; la variable de respuesta fue el rendimiento del biocombustible expresado como la masa del producto final en función de la masa de aceite utilizado.

La transesterificación alcalina se llevó a cabo de la siguiente manera:

El aceite de café se calentó a una temperatura de 65 °C, para evitar la formación de jabones y favorecer la velocidad de la reacción (Torossi, 2006, p. 45).

Como catalizador en la formación de metóxido de potasio, se utilizó hidróxido de potasio porque permite su utilización en condiciones de temperatura y presión moderadas requeridas para la reacción, por ofrecer altos rendimientos en periodos de tiempo cortos y además porque permite la separación eficiente de la glicerina (Nimcevic et al., 2000, p. 275 - 276). El metanol fue el alcohol empleado en la transesterificación debido a sus propiedades físicas y químicas favorables para la reacción (Fukuda et al., 2001, p. 406).

En la formación del metóxido de potasio, se ensayaron tres cantidades de catalizador: 0,5, 1,0 y 1,5 % p/p con respecto a la masa de aceite utilizada, tomando como referencia que para la transesterificación de otros tipos de aceites se sugiere 1,0 % p/p de catalizador (Torossi, 2006).

El metanol se ensayó en relaciones molares de 4:1, 6:1 y 8:1 con respecto al aceite, por experiencias en trabajos de investigación con diferentes relaciones en transesterificación alcalina de aceites de origen vegetal (Fukuda et al., 2001, p. 408).

La reacción de transesterificación se realizó en un reactor de vidrio, en el cual se colocó en el reactor un agitador magnético y 150 gramos de aceite de café, se montó el reactor sobre una plancha con agitación. Cuando se alcanzaron los 65 °C se añadió el catalizador disuelto en el alcohol al balón y se acopló el refrigerante. La reacción se mantuvo por una hora con temperatura y agitación controladas.

Concluido el tiempo se detuvo la agitación, se retiró el refrigerante y se transfirió la mezcla a un embudo de decantación para separar la glicerina del biodiésel.

Los ésteres metílicos obtenidos se sometieron a una etapa de lavado con agua destilada, en volúmenes iguales de agua y biodiésel, por tres veces, con el fin de remover jabones producidos durante la transesterificación (Castillo et al., 2011, p. 39).

Se empleó el programa Statgraphics Centurion XV para el análisis estadístico de la influencia de los niveles de catalizador y alcohol sobre el rendimiento del biodiesel.

Para analizar simultáneamente el efecto del catalizador y alcohol sobre el rendimiento del biodiésel se realizó un ANOVA de dos vías.

### **Análisis del biodiésel**

Se evaluó la calidad del biodiésel obtenido de la mejor conversión del aceite de café, en función de las normas ASTM D 287 (2000), D 445 (2003), D 93 (2006), D976 (2007), D4006 (2011). Para densidad API, viscosidad cinemática, punto de inflamación, índice de cetano y contenido de agua, respectivamente (ASTM).

## **Resultados y discusión**

### **Caracterización del afrocho de café**

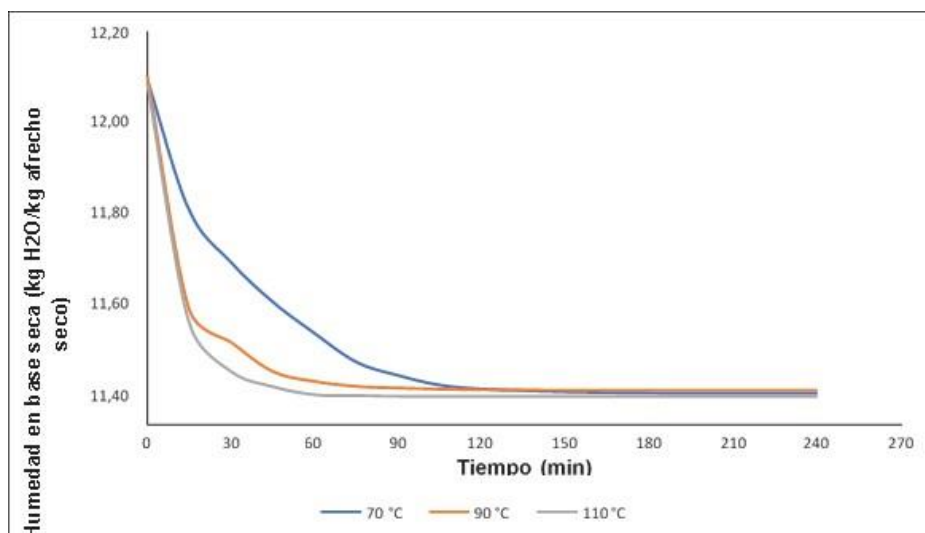
Los resultados del análisis de caracterización del afrocho de café se muestran en la Tabla 3. Los datos se presentan en el Anexo III. El resultado de extracto etéreo del 11 % refleja un contenido de aceite inferior al 15,2 y 17,9 % presentado por Fan y Soccol (2005); esta diferencia puede atribuirse a las distintas variedades de café. Sin embargo, es un valor que presenta buenas perspectivas para su extracción y posterior transesterificación para obtener biodiésel (p.92).



**Tabla 3.***Análisis proximal del afrecho de café*

<b>ANALITO</b>	<b>RESULTADOS (g/100g)</b>
Humedad	12,09
Cenizas	1,12
Extracto etéreo	11,00
Proteína	11,57
Carbohidratos totales por diferencia	64,22

De acuerdo con Anastopoulos, Deligiannis, Papazafeiropoulou y Zannikos (2011), si se realiza la extracción por el método de soxhlet y se realiza una transesterificación alcalina, con un contenido del 10 al 15 % de aceite y una conversión del 92 % a biodiésel, se obtendrían de 0,09 a 0,14 kg de biodiésel por kilogramo de afrecho. Si los residuos llegan a las 260 ton/mes, se obtendrían de 23,92 a 35,88 ton de biodiésel/mes.



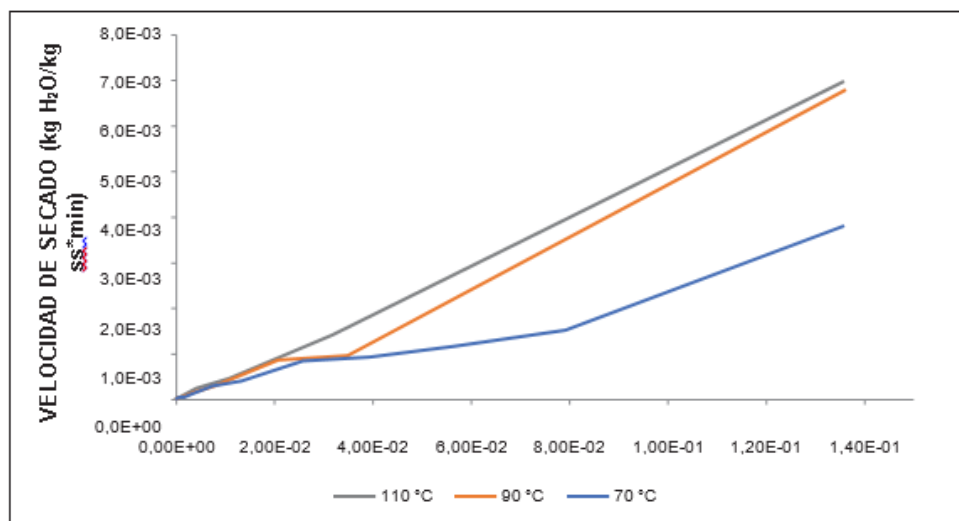
**Figura 2.** Cambios de la humedad en base seca del afrecho de café en función del tiempo, durante el tratamiento a 70, 90 y 110 °C

Se observa según la Figura 3 y Tabla 3., que a los 15 minutos el porcentaje de pérdida de agua del afrecho es del 76,59 % a 110 °C, 74,37 % y 41,67 % para los tratamientos a 90 y 70 °C respectivamente; no obstante, las curvas de secado a 90 y 110 °C presentan mínimas diferencias.

Sin embargo, sí se presentan diferencias en las curvas de secado si se compara el tratamiento de secado a 70 °C con respecto de los tratamientos de secado a 90 y 110 °C.

En la Figura 3 se presentan las segundas curvas de secado que muestran los cambios en la velocidad de secado (kg H<sub>2</sub>O/kg afrecho\*min) en función de la humedad libre (kg H<sub>2</sub>O/kg afrecho) para los 3 tratamientos de secado en estudio.

En el tramo B – C hay un cambio en la velocidad de secado, y es similar a 110 y 90 °C, pero sin embargo difiere a 70 °C. En este tramo, la velocidad de secado disminuye porque el agua ligada debe moverse desde el interior del afrecho hacia la superficie para evaporarse (Mujumdar, 1995, p. 21).



**Figura 3.** Cambios de velocidad con respecto a la humedad en base seca en cada período de secado del afrecho de café durante el tratamiento a 70, 90 y 110 °C

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la variación de la humedad en base seca y la variación de la velocidad de secado del afrecho a 70, 90 y 110 °C. Se puede evidenciar que la mayor variación en la velocidad de secado es a 90 °C para un tiempo de 15 minutos y la menor variación de la velocidad de secado es a 110 °C para el intervalo de 45 a 105 minutos, de allí que el porcentaje en pérdida de humedad a 110 °C es de alrededor del 23,40 % a partir de los 15 minutos de secado. Según Moss y Nonhebel (1979) al tener mayor temperatura de secado y menor humedad perdida, es menor el tiempo de secado; sin embargo, a 70 °C el efecto es el contrario, puesto que, la

temperatura de secado es menor, la humedad es mayor y el tiempo que dura el secado del afrecho de café también es mayor (p. 74).

Cabe señalar que a partir de los 45 minutos de secado y a las temperaturas de 90 y 110 °C, el porcentaje de pérdida de humedad fue menor al 6 %, y prácticamente las velocidades de secado tienden a cero. Esto se debe a que la difusión desde el interior del afrecho hacia la superficie no suministra toda el agua que se evapora, el afrecho se endurece, y forma una capa exterior de baja permeabilidad y una capa interior húmeda de agua ligada (Moss y Nonhebel, 1979, p.74).

**Tabla 3.**

*Variación de la humedad en base seca y velocidad de secado del afrecho de café a 70, 90 y 110 °C*

<b>Tiempo</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Humedad (kg H<sub>2</sub>O/kg de afrecho)</b>	<b>% Pérdida de humedad</b>	<b>Velocidad (kg H<sub>2</sub>O/kg afrecho*min)</b>
0 - 15	70	-5,67E-02	41,669	-2,27E-03
	90	-1,01E-01	74,367	-5,81E-03
	110	-1,04E-01	76,599	-5,54E-03
15 - 45	70	-3,98E-02	29,262	-5,95E-04
	90	-2,69E-02	19,763	-6,59E-04
	110	-2,76E-02	20,316	-1,16E-03
45 - 195	70	-3,95E-02	29,070	-9,10E-04
45 - 150	90	-8,08E-03	5,869	-2,84E-04
45 - 105	110	-4,19E-03	3,085	-2,33E-04

Los intervalos de tiempo tomados a partir del minuto 45 difieren para cada tratamiento de secado, porque el tiempo necesario para alcanzar la humedad final del afrecho de café depende de la temperatura a la que fue expuesto.

En la Tabla 4 se presentan las humedades iniciales y de equilibrio para cada tratamiento. La humedad inicial del afrecho de café fue de aproximadamente el 12 % para todas las temperaturas de secado.

**Tabla 4.***Humedad inicial del afrecho de café y humedad de equilibrio alcanzado luego del proceso de secado*

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Humedad Inicial (%)</b>	<b>Humedad de equilibrio (%)</b>
70	11,98	10,56
90	12,00	10,56
110	11,96	10,53

A las tres temperaturas de secado se logra alcanzar aproximadamente la misma humedad de equilibrio difiriendo únicamente en el tiempo al cual se alcanzan esas humedades, siendo a 110 °C cuando más rápidamente se consigue la humedad de equilibrio del afrecho de café. Sin embargo, el incremento rápido de la temperatura ocasiona el endurecimiento del afrecho de café. Efecto que tiene lugar porque la evaporación se da en el interior del afrecho y lejos de la superficie, ello conlleva a que la capa externa sometida a una alta temperatura sea de baja permeabilidad.

### **Extracción de aceite**

A fin de comparar la influencia del secado en la extracción del aceite, en la Tabla 5 se presentan los resultados de extracción de aceite a partir de afrecho sin secar y en la Tabla 6 se presentan los resultados de extracción de aceite para el afrecho de café secado a diferentes temperaturas. Cuando se empleó afrecho sin secar, a los 10 minutos de extracción se obtuvo 0,312 g de aceite y a los 30 minutos de extracción se obtuvo 0,543 g de aceite; es decir que el rendimiento de extracción de aceite es muy bajo puesto que apenas se obtuvo un 0,54 % de aceite de un total de 11 % de extracto etéreo.

**Tabla 5.***Promedio de aceite obtenido en el transcurso del tiempo de extracción para afrecho sin secado previo*

<b>Tiempo</b>	<b>Aceite de café (%)</b>	
	<b>n</b>	<b><math>\bar{X}</math></b>
10	3	0,312 ± 0,010
15	3	0,383 ± 0,011
20	3	0,400 ± 0,010
30	3	0,543 ± 0,009

 $\bar{X} \pm \sigma (n = 3)$

En la Tabla 6 se presentan los resultados del afrecho secado a 70, 90 y 110 °C, en donde se aprecia que el mayor porcentaje de aceite de café obtenido durante la extracción fue cuando el pretratamiento de secado se realizó a 110 °C, cuyo valor final a los 45 minutos fue de 11,25 g/100 g de afrecho seco, seguido por los valores de 10,81 y 10,57 g/100 g a las temperaturas de secado de 90 y 70 °C respectivamente. En todos los casos, a los 30 minutos prácticamente se logra obtener la máxima extracción de aceite.

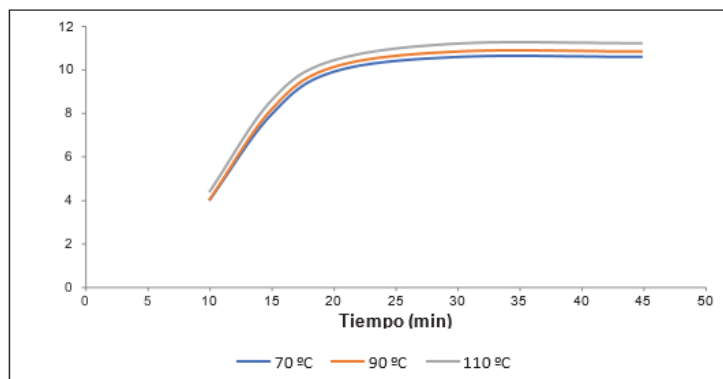
**Tabla 6.**

*Promedio de aceite de café (g/100 g afrecho seco) obtenido del afrecho secado a 70, 90 y 110 °C durante cada intervalo de 10, 15, 20, 30 y 45 minutos de extracción.*

Temperatura °C	Tiempo (min)	Aceite de café (%)	
		n	$\bar{X}$
70	10	3	3,952 ± 0,023
	15	3	7,898 ± 0,017
	20	3	9,874 ± 0,010
	30	3	10,564 ± 0,013

La Figura 4., se presenta el porcentaje de extracción de aceite de café en función del tiempo y la temperatura de secado. Se observa que el comportamiento de la extracción es similar para las tres temperaturas de secado empleadas en el proyecto; sin embargo, existe una ligera diferencia entre las tres temperaturas de secado, que está dada por la cantidad de aceite obtenido. A mayor temperatura de secado del afrecho de café, mayor la cantidad de aceite extraído. Este efecto se debe a que el afrecho sometido a una temperatura mayor genera una mayor cantidad de células rotas en el afrecho. Éstas son células que aportan una mayor cantidad de aceite. El tramo inicial que va hasta los 10 minutos, supone el calentamiento y evaporación del hexano, su posterior paso a través de la muestra. Su condensación y percolación por gravedad sobre las partículas del afrecho de café. Dura hasta la obtención de las primeras cantidades de aceite.

En el tramo A – B que va hasta aproximadamente los 20 minutos, la extracción de aceite es creciente. En el período B – C, el porcentaje de extracción de aceite decrece y no varía considerablemente. En la sección C – D a partir de los 30 minutos, no se logra extraer más aceite. Por lo tanto, el tiempo de extracción debería ser mayor de 20 minutos e inferior a 30 minutos.



**Figura 4.** Porcentaje de aceite de café obtenido durante la extracción del afrecho secado a 70, 90 y 110 °C

En la Tabla 7 se presentan los resultados del aceite obtenido en cada período de extracción para cada una de las temperaturas de secado del afrecho. Se puede apreciar en el período A – B para todas las temperaturas de secado, que la cantidad de aceite extraído alcanza su máxima extracción, lo que corrobora el tiempo necesario de extracción de entre 20 y 30 minutos.

**Tabla 7.**

*Aceite (g) obtenido en los períodos de extracción del afrecho seco a 70, 90 y 110 °C*

Períodos de extracción	Temperatura de secado (°C)		
	70	90	110
A - B	9,874	10,089	10,445
B - C	0,690	0,716	0,783
C - D	0,003	0,003	0,020

En la Tabla 8 se indica de la cantidad de aceite extraído en cada período de tiempo durante la extracción del afrecho secado a 110 °C En ella se puede identificar en primer lugar que existe un aumento entre las cantidades de aceite extraído a los 10 y 45 minutos en 6,89 g y en segundo lugar que en total existe una diferencia de 10,70 g de aceite con respecto a la extracción de aceite del afrecho sin secado previo que se muestra en la Tabla 5 Por lo tanto, se evidencia que el tiempo requerido para alcanzar la mayor extracción de aceite es a los 30 minutos. También que los tratamientos de secado influyen sobre la cantidad de aceite obtenido, debido a que facilitan el rompimiento de las células del afrecho. El efecto del mejor tratamiento de secado del afrecho sobre el aceite extraído es a 110 °C, esto debido a que el afrecho sometido a temperaturas de 90 y 70 °C aún presenta células enteras o rotas de forma parcial.

**Tabla 8.***Promedio de aceite de café obtenido frente al tiempo de extracción del afrecho secado a 110°C*

Tiempo (min)	Aceite de café (g/100 g)	
	n	$\bar{X}$
	10	3
15	3	8,579 ± 0,019
20	3	10,445 ± 0,011
30	3	11,228 ± 0,024
45	3	11,247 ± 0,016

**Análisis del aceite de café extraído**

Se evaluó el aceite extraído a partir del afrecho de café secado a 110 °C, con base en los parámetros fijados en las normas INEN, donde se detallan las propiedades que se requieren para la producción de biodiésel. Los resultados obtenidos para cada propiedad evaluada se presentan en la Tabla 9.

**Tabla 9.***Resultados obtenidos para cada propiedad evaluada en el aceite de café*

Propiedad	Resultado
Densidad relativa d25	0,926 ± 0,001
Índice de acidez mg/g	6,34 ± 0,12
Índice de saponificación	160,68 ± 1,40 mg
KOH/g Índice de yodo	108,32 ± 0,15 cg/g
Índice de peróxidos	10,79 ± 0,29 meq O <sub>2</sub> /kg

**Conclusiones**

- El mayor porcentaje de pérdida de agua en el afrecho se dio a los 15 minutos para las tres temperaturas de secado. Los porcentajes de pérdida de humedad fueron: 41,67 % a 70 °C, 74,36 % a 90 °C y 76, 59 % a 110 °C.
- La extracción de aceite de café de afrecho sin secar permitió obtener hasta el 0,54 % de aceite, mientras que la disminución de la humedad en el afrecho hasta el 10,53 % con un tratamiento de secado de 110 °C facilitó la extracción hasta en un 11,25 %, es decir existió un efecto del secado en la obtención del aceite.

- El efecto del 1,5 % (p/p) del hidróxido de potasio y de la relación 1:8 (mol/mol) aceite – metanol en la reacción de transesterificación permitió obtener el mayor rendimiento de biodiésel hasta en un 97,46 %.
- La calidad del aceite de café medida como densidad d<sub>25</sub> (0,926), índice de acidez (6 mg/g), índice de saponificación (160,68 mg KOH/g), índice de yodo (108,32 cg/g) e índice de peróxidos (10,79 meq O<sub>2</sub>/kg) reflejan que el aceite presenta un alto grado de insaturación que afectó las propiedades de índice de acidez, viscosidad cinemática, densidad y número de cetano del biodiésel obtenido.
- La calidad del biodiésel medida como viscosidad (6,88 cSt), densidad (25,6 °API), punto de inflamación (103,1 °C), número de cetano (41,68) y contenido de agua (0,3 % V), indican que es un biodiésel propenso a reacciones de oxidación y formación de sedimentos.

## Referencias

1. Anastopoulos, G., Deligiannis, A., Papazafeiropoulou, A. y Zannikos, F. (2011). Waste Coffee Grounds as an Energy Feedstock. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Fanourios\\_Zannikos/publication/258121575\\_Waste\\_Coffee\\_Grounds\\_as\\_an\\_Energy\\_Feedstock/links/004](https://www.researchgate.net/profile/Fanourios_Zannikos/publication/258121575_Waste_Coffee_Grounds_as_an_Energy_Feedstock/links/004)
2. ANECAFE. (2015). Exportación de café del Ecuador por Exportador: Enero/Diciembre-2014. Recuperado de <http://www.anecafe.org.ec/wp-content/uploads/2014/03/ACUMULADO-EXPORTADORES-2014.pdf> (
3. AOAC. (2005). Official Methods of Analysis of AOAC International. (18th. ed.). Gaithersburg, United States of América.
4. Castillo, A., Cuartas, P. y Velásquez, J. (2011). Obtención de Biodiésel a Partir de Aceite de jatropha curcas L por Transesterificación Etanólica. Revista de Investigaciones Aplicadas, 5(1), 34-41.
5. CENICAFE. (2010). Los Subproductos del Café: Fuente de Energía Renovable. Recuperado de <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393.pdf> (Octubre, 2015)
6. Dufey, A. (2006). Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas. Recuperado de [http://pubs.iied.org/pdfs/15504\\_SIIED.pdf](http://pubs.iied.org/pdfs/15504_SIIED.pdf)? (Septiembre, 2103)



7. Dutta, B. (2007). Principles of mass transfer and separation processes (1ra.ed.). New Delhi, India: Prentice Hall of India Private Limited.
8. Fan, L. y Soccol C. (2005). Coffee Residues: Shiitake Cultivation. Recuperado de <http://www.alohamedicinals.com/book2/chapter-4-02-02.pdf>
9. FEDAPAL. (2015). Exportaciones de Aceite de Palma, por Producto. Estadísticas Internacionales. Recuperado de <http://fedepal.com/web/index.php/joomla/estadisticas-nacionales> (Noviembre, 2015)
10. Figueroa, J. (2011). El potencial uso de los residuos del café. Recuperado de <http://www.revistaelagro.com/el-potencial-uso-de-los-residuos-del-cafe/>
11. Fukuda, H., Kondo, A. y Noda, H. (2001). Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92(5), 405-416.
12. IICA. (2007). Preguntas y Respuestas más Frecuentes sobre Biocombustibles. Recuperado de <http://www.iica.int/Esp/organización/LTGC/agroenergia/Documentos%20Agroenerga%20y%20Biocombustibles/Preguntas%20y%20respuestas%20más%20frecuentes%20sobre%20biocombustibles.pdf>
13. INEN. (2001a). NTE 0035:73 Determinación de la Densidad Relativa. Recuperado de <http://www.inen.gob.ec/images/pdf/nte/35.pdf>
14. INEN. (2001b). NTE 0038:73 Determinación de la Acidez. Recuperado de <http://www.inen.gob.ec/images/pdf/nte/38.pdf>
15. INEN. (2001c). NTE 0040:73 Determinación del Índice de Saponificación. Recuperado de <http://www.inen.gob.ec/images/pdf/nte/40.pdf>
16. INEN. (2001d). NTE 0037:73 Determinación del Índice de Yodo. Recuperado de <http://www.inen.gob.ec/images/pdf/nte/37.pdf>
17. INEN. (2001e). NTE 0277:78 Determinación del Índice de Peróxido. Recuperado de <http://www.inen.gob.ec/images/pdf/nte/277.pdf>
18. International Coffee Organization. (2005). Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café. Recuperado de <http://www.ico.org/documents/ed1967c.pdf> (Agosto, 2013)
19. ICAFE. (2012). Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. En XLI Congreso Nacional Cafetalero Ordinario, San José, Costa Rica. Recuperado de

- [http://www.icafe.go.cr/sector\\_cafetalero/estadsticas/infor\\_activ\\_cafetal/actual/Informe%20Actividad%20Cafetalera%202012.pdf](http://www.icafe.go.cr/sector_cafetalero/estadsticas/infor_activ_cafetal/actual/Informe%20Actividad%20Cafetalera%202012.pdf) (Septiembre, 2013)
20. King, A. (2010). Research Advances: Fill'er up on Chicken, Shrimp, and Coffee. *American Chemical Society and Division of Chemical Education*, 87(3), 243-244.
  21. Moss, A. y Nonhebel. (1979). *El secado de sólidos en la industria química*. (1ra. ed.). Barcelona, España: Editorial Reverté S.A.
  22. Mujumdar, A. (1995). *Handbook of Industrial Drying*. (2da. ed.). Québec, Canada: CRC Press.
  23. Nimcevic, D., Puntigam, R., Wörgetter, M. y Gapes, J. (2000). Preparation of Rapeseed oil Esters of Lower Aliphatic Alcohols. *JAACS*, 77(3), 275-280.
  24. PRO ECUADOR. (2013). Análisis sectorial del Café. Recuperado de [http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/05/PROEC\\_AS\\_2013\\_CAFE.pdf](http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/05/PROEC_AS_2013_CAFE.pdf) (Agosto, 2013)
  25. Torossi, F. (2006). Reacciones en contexto: la Transesterificación en la producción de Biodiésel a partir de Aceite de fritura usado. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, 102(3).
  26. Valencia, N. (2000). Manejo de Residuos en la Agroindustria Cafetera. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal/xxx.pdf>