



Evaluación del potencial bioenergético de la borra de café

Raúl A. Limón-Hernández^{1*}, Verónica López-Hernández¹, Fidel A. Aguilar-Aguilar¹, Iriana Hernández-Martínez¹

¹Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora. Prolongación Dr. Miguel Patiño s/n, col. Centro, Gutiérrez Zamora
93556, Veracruz, México.

*Autor de correspondencia: raul.limon@utgz.edu.mx

Recibido 25 de agosto de 2020; aceptado 27 de septiembre de 2020

RESUMEN

La borra de café es el residuo sólido que se genera en la preparación de la bebida con el mismo nombre, ya sea en cafetera o prensa, el cual no tiene valor agregado, y generalmente es vertido al drenaje o depositado junto a los residuos sólidos urbanos sin ningún tratamiento adicional. En el presente proyecto, se estudió el potencial de la borra de café como materia prima en la generación de productos bioenergéticos de valor comercial: aceite, biodiesel y biogás; además, el residuo final tiene características que permitirían su aprovechamiento como mejorador de suelos infértiles. El desarrollo del proyecto consistió en la caracterización fisicoquímica de la borra de café (humedad, SST, SV y cenizas), la cual se deshidrató hasta peso constante y se extrajo el aceite por medio del equipo soxhlet y hexano mediante un diseño experimental factorial mixto, tomando en cuenta el tipo de café y el nivel de tostado. El rendimiento del aceite fue del 11.9 ± 0.5 % para la borra, y se comparó con el contenido de aceite de café nuevo (12.3 ± 0.9 %) para conocer la cantidad de aceite perdida durante la preparación de la bebida. Una vez extraído el aceite, se procedió a la transesterificación con la relación 6:1 de metanol-aceite y KOH como catalizador a 60° C

por 60 minutos; después se decantó y se cuantificó un rendimiento del $60.81 \pm 0.82\%$ del biodiesel. Finalmente, con el residuo final, se realizó la evaluación de la producción de biogás con un diseño factorial mixto multinivel con los factores: concentración de excreta, tipo de café y tipo de tostado, con lo que el rendimiento máximo de biogás fue de 74.42 NmL/gSV.

PALABRAS CLAVE: Café, residuos, aceite, biogás, biodiesel.

ABSTRACT

Spent coffee grounds are the waste that usually remains after the preparation of the drink with the same name, whether in a coffee maker or press, which has no added value, and is commonly dumped into the drainage or deposited with solid urban waste without a treatment. In this project, the potential of coffee grounds to be used as raw material in the generation of bioenergetics products of commercial value: oil, biodiesel and biogas; besides, the final waste has characteristics to be used as a fertilizer in infertile soils. For the development of the project, the raw material was characterized (humidity, SST, SV and ashes), and the spent coffee grounds were dehydrated and the oil was extracted using a soxhlet method with hexane as a solvent and a mixed factorial design, involving the type of coffee and the level of roasting. The oil yield was $11.9 \pm 0.5\%$ for spent coffee grounds, and it was compared with the oil of new coffee ($12.3 \pm 0.9\%$) to know how much of the oil was lost when preparing the drink. Once the oil was extracted, the transesterification was continued with a 6:1 ratio of methanol-oil and KOH as a catalyst at 60°C for 1 hour; after decantation, a yield of $60.81 \pm 0.82\%$ was quantified. Finally, the evaluation of biogas production was carried out with a multilevel mixed factorial design involving cow manure concentration, type of coffee, type of roasting, with which the maximum yield of biogas was 74.42 NmL / gSV.

KEY WORDS: Coffee, waste, oil, biogas, biodiesel.

INTRODUCCIÓN

El café es un grano oriundo del norte de África y que hoy en día se cultiva en zonas templadas entre 800 y 2100 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar). En México, los estados de Chiapas, Puebla, Oaxaca y Veracruz son los mayores productores del país con un promedio de medio millón de toneladas al año. Los granos de café están contenidos en el fruto de la mata (cafeto), los cuales en estado de madurez toman un color rojizo (cereza). Después del beneficio del café, se obtiene el café molido con el que se prepara la bebida que lleva el mismo nombre, a partir de una extracción sólido-líquido con agua caliente. Posterior a la preparación, queda la torta residual de café, misma que es desechada porque se considera un residuo; sin embargo, de acuerdo con la literatura, este residuo posee metabolitos que pueden ser de interés para el sector industrial para la obtención de bioenergéticos.

El café tostado presenta un contenido de aceite entre 12 y 18%, dependiendo de la variedad del café, cuyas características son semejantes a los aceites vegetales comestibles, pues contiene soya, maíz, linaza, oliva, entre otros (López, 2017). La mayoría del aceite contenido en el café queda en la borra residual y puede

ser extraído por medios mecánicos, utilizando prensas, por medios criogénicos y por extracción con solventes como éter o hexano (Álvarez, 2014).

Por otro lado, el biodiesel es un combustible que se obtiene a partir de un proceso de transesterificación de los triglicéridos presentes en aceites vegetales, o grasas animales con algún alcohol como etílico o metílico y un catalizador que puede ser NaOH o KOH (Alfonso, 2013); es denominado renovable y está conformado por ésteres metílicos de ácidos grasos de cadena larga. Uno de los principales problemas que la obtención de biodiesel presenta actualmente es el uso de aceites vegetales de especies alimenticias, por lo que el uso de un residuo como la borra de café podría ser viable desde el punto de vista de la competencia alimentaria.

Finalmente, el biogás es un subproducto del tratamiento anaeróbico de los residuos orgánicos, en conjunto con un consorcio microbiano metanogénico que puede ser utilizado como combustible, al igual que el gas natural o gas LP. De acuerdo con Balseca y Cabrera (2011), la composición promedio del biogás está dada por CH₄ (55-65%), CO₂ (34-45%), N₂ (0-3%), H₂ (0-1%) y H₂S (0-1%).

En el presente estudio, se evaluó el potencial bioenergético de la borra de café; primero se extrajo y cuantificó el aceite presente, después se obtuvo biodiesel vía transesterificación con KOH y metanol, y finalmente, con el residuo final sólido y excreta bobina (inóculo), se generó biogás durante un periodo de 20 días.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de materia prima

La borra de café se recolectó de una cafetera por goteo en el laboratorio de química de la Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora y se diferenciaron de acuerdo con las especificaciones de tostado (claro, medio, oscuro). Las muestras se caracterizaron con base a la norma NMX-F-173-1999 y se determinó el contenido de humedad, cenizas, sólidos totales y sólidos volátiles.

Obtención de aceite de la borra de café

Para la obtención de aceite, se tomó un diseño factorial mixto, tomando en cuenta el tipo de café y el nivel de tostado como factores, los cuales tienen 2 y 3 niveles respectivamente, tal y como se aprecia en la tabla 1.

Tabla 1. Diseño experimental extracción de aceite.

Factor	Niveles	Niveles valorados		
Tipo de café	2	Nuevo	Usado	
Tostado de café	3	Claro	Medio	Oscuro

Para la extracción de aceite, se utilizó un equipo soxhlet y hexano como solvente, para lo cual se pesaron 100 gr de la muestra (borra), se colocó la muestra dentro de un papel filtro y esta fue introducida a la cámara de extracción para asegurar la separación del aceite. La temperatura de extracción se mantuvo a 70° C por 90 minutos (Álvarez, 2014). Posteriormente, se recuperó el solvente por evaporación y el aceite se colocó en una estufa de secado a 105° C durante 1 h con la finalidad de eliminar cualquier resto de solvente; se evaluó el rendimiento de aceite extraído cuantificando los gramos de aceite extraídos por cada 100 gr de materia prima, de acuerdo a la siguiente ecuación (López, 2017).

$$\%R = 100 * \text{aceite obtenido (gr)} / \text{café utilizado (gr)}$$

Caracterización del aceite

El aceite extraído fue caracterizado con respecto a la norma NMX-F-101-1987 para determinar el índice de acidez, índice de saponificación, porcentaje de ácidos grasos libres y gravedad.

Producción de biodiesel

El aceite se sometió a una transesterificación utilizando metanol en una relación 6:1 (metanol: aceite) y KOH como catalizador a 60° C durante 60 minutos. Terminado el proceso, se dejó reposar hasta separar las fases, biodiesel y glicerol bruto (Alfonso, 2013).

Producción de biogás

Para realizar la producción de biogás, se realizó un diseño factorial mixto multinivel, obteniendo de esta manera 3 factores dentro de los factores analizados (como se muestra en la tabla 2), los cuales son: concentración de excreta bovina, tipo de café y tipo de tostado. Para ello, fue necesario tener en cuenta el valor de los sólidos volátiles sólidos totales, tanto del inóculo (excretas bovinas) como del sustrato (café nuevo y borra del café).

Tabla 2. Matriz de diseño factorial mixto para la producción de biogás

Factor	Niveles	Niveles valorados		
Concentración de excreta	3	25 %	50 %	75%
Tipo de café	2	Nuevo	Usado	---
Tostado de café	3	Claro	Medio	Oscuro

Para el armado de los reactores (figura 1), se utilizaron botellas de vidrio de 500 ml con una inoculación de biomasa total de 10 gSV/L y con un volumen de operación de 300 ml (Londoño, 2017). Los reactores se conectaron a un sistema de medición de volumen de biogás, que consiste en un recipiente invertido de 500 ml, el cual contiene una solución de NaOH con una concentración de 3 mol/L, cuya función fue eliminar el CO₂ presente del biogás para cuantificar sólo el metanol producido (Balseca y Cabrera, 2011). Cabe señalar que el monitoreo se realizó cada 24 horas por desplazamiento de volumen, y después el volumen fue convertido a condiciones normales de presión (1atm) y temperatura (0° C).

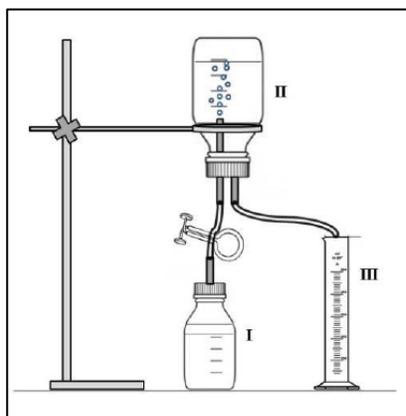


Figura 1. Montaje y monitoreo de reactor para la producción de biogás.

Análisis estadístico de resultados

Tomando en cuenta los resultados de obtención de aceite y la producción de biogás, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para cada resultado, y de esta forma comparar las medias de estos y establecer conclusiones de semejanza o diferencia de tratamientos.

RESULTADOS

Caracterización de la materia prima

La humedad obtenida de los granos de café se muestra en la tabla 3; como se observa, la muestra de café nuevo tuvo 10% de humedad, siendo un valor adecuado para mantener su estabilidad química y microbiológica durante el almacenamiento y comercialización,

mientras que en la borra se observó entre 69 y 71% (p/p), lo que indica que absorbe una gran cantidad de agua durante la preparación del café, que debe ser retirada.

Tabla 3. Humedad en muestras de café y la borra del café

Muestra (tostado)	Humedad café	Humedad borra
	nuevo (%)	de café (%)
Claro	10 ± 2	69.574 ± 2.041
Medio	10 ± 2	71.313 ± 1.054
Oscuro	10 ± 2	70.434 ± 3.478

En relación con las cenizas de la borra de café, se determinó un contenido 3.8%, lo que indica una disminución debido a que algunos sólidos son hidrosolubles y se pierden al preparar la bebida, considerando que el café nuevo tuvo 5.03±0.001%, lo cual está dentro de los límites marcados por la norma NMX-F-173-1999.

En relación con los sólidos totales (ST), la borra presentó mayor contenido en la que provenía del café claro y menor en la de café oscuro, comportamiento

similar al evaluar sólidos volátiles (SV), como se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Contenido de sólidos en muestras

Muestra	*ST	**SV
(Tostado)	(gr/kg)	(gr/kg)
Claro	953 ± 20	757 ± 15
Medio	929 ± 33	729 ± 12
Oscuro	876 ± 10	679 ± 3

*Sólidos totales, **Sólidos volátiles.

Los sólidos volátiles de la excreta bovina fueron proporcionados por la literatura, en el cual se encontró un valor de $124 \frac{\text{g SV}}{\text{kg}}$, reportado por Labatut et al., (2011).

Obtención de aceite de la borra de café

El rendimiento promedio del aceite no se diferenció de acuerdo con el estado (nuevo/usado) ni al grado de tostado del café ($p > 0.05$), lo cual se resalta debido a que el consumo mayoritario del café es con tostado medio y un pequeño sector utiliza los otros dos tipos de tostado. Se obtuvo un rendimiento de aceite del $11.9 \pm 0.5 \%$ para el café usado y el $12.3 \pm 0.9 \%$ para café nuevo, lo

cual son valores cercanos a lo reportado con Urribarri (2014), quien reportó el 13.5% de rendimiento para el café nuevo, con lo que se puede observar que existe un gran potencial para obtener aceite con una tasa de 119 kg/tonelada de borra de café.

Caracterización del aceite

El aceite se caracterizó, los resultados mostraron 0.93 ± 0.33 gr/ml de gravedad específica; mientras que, respecto al índice de saponificación, se obtuvo un valor de 255.251 ± 55.811 mgKOH/gr de aceite, el cual es un valor bastante elevado en relación con lo observado por Torres (2018), donde indica que el índice de saponificación del aceite de café es de 182.33 mgKOH/gr, y con el estudio de Lago (2001), quien al realizar el índice de saponificación del aceite de café del café tostado, obtuvo valores entre 180 - 200 mgKOH/gr, observando que estos valores se encuentran en función a la temperatura y al tiempo de tostado del grano de café. Al comparar estos valores, se considera que el aceite obtenido del presente estudio podría tender a saponificarse al someterlo a procesos para la formación de biodiésel.

Otro resultado que sobresale en la presente investigación es el porcentaje de ácidos grasos libres; el ácido graso que en mayor proporción, presente en el aceite de café, fue el ácido oleico, con un porcentaje de $2.810 \pm 0.279 \%$, y otros ácidos que resultaron ser el palmítico ($2.490 \pm 0.332\%$) y láurico ($1.945 \pm 0.260\%$). Sin embargo, se debe considerar que el contenido de ácidos grasos libres mayor al 2 % tiende a formar jabón, hecho que coincide con el índice de saponificación (Álvarez, 2014).

Por último, el índice de acidez obtenido fue de 2.459 ± 0.733 mgKOH/g, un valor ligeramente superior a lo reportado por Olivera et al., (2015), quienes presentan valores promedio de 1.65 mgKOH/gr de la caracterización fisicoquímica del aceite obtenido del café tostado, lo cual es explicado por Kita y Figiel (2007), quienes exponen que el calentamiento del café a altas temperaturas y el contacto con el oxígeno puede causar reacciones de oxidación del aceite, de modo que el aceite se descompondrá en ácidos grasos libres. De esta forma, cuanto mayor sea la temperatura de calentamiento, más ácidos grasos libres se formarán, los cuales se expresarán en gramos de KOH por gramo de aceite o bien en porcentaje. Por lo tanto, cuanto mayor

sea el contenido de ácidos grasos libres en el aceite, mayor será el índice de acidez y menor la probabilidad de producir biodiesel.

Producción de biodiesel

El biodiesel obtenido a partir del aceite de café tuvo un rendimiento de $60.81 \pm 0.82\%$, resultado que concuerda con lo obtenido por Caetano et al., (2012), quienes establecieron un rendimiento del 58% al 62% con respecto a la masa de aceite. En la figura 2 se muestra el biodiesel obtenido a partir del aceite de café; el tubo de ensayo de la izquierda contiene biodiesel (parte superior del tubo) y glicerina (parte inferior), mientras que el tubo del lado derecho muestra un contenido total de aceite de café previo a la reacción de transesterificación.



Figura 2. Biodiesel con glicerina al fondo (izquierda) y aceite de café obtenido (derecha).

Producción de biogás

En un análisis de café claro, los rectores con el 100% de

excreta bobina generaron la mayor cantidad de biogás con 76.3 ml, como era de esperarse. De las mezclas que contienen café, el tratamiento que mejor rendimiento presentó fue 75% excreta y 25% café (figura 3), con un volumen final de 48.23 Nml/gSV.

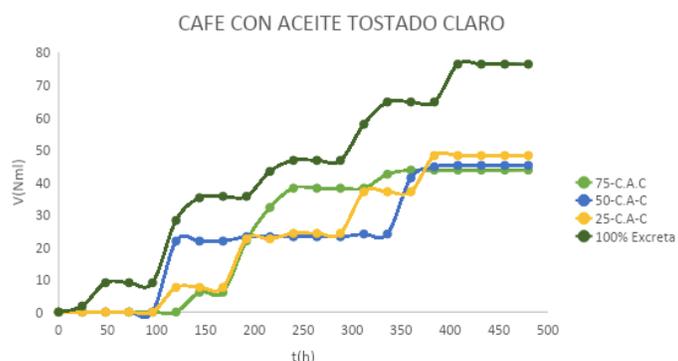


Figura 3. Biogás obtenido con café tostado claro con aceite.

Por otro lado, en las muestras de café sin aceite, el reactor con 50% café tostado claro sin aceite, con el 50% de excretas (figura 4), obtuvo en una mayor proporción un volumen de 61.49 Nml/gSV (figura 3).

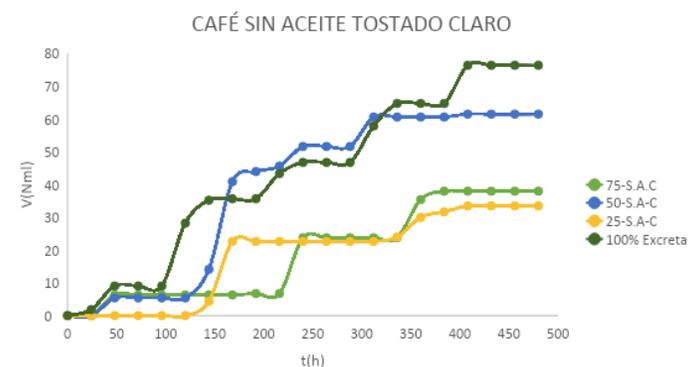


Figura 4. Biogás obtenido con café tostado claro sin aceite.

En cuanto al tipo de tostado medio, los valores promedios del volumen acumulado del mejor tratamiento fueron 43.69 Nml/gSV para el tratamiento compuesto de 25% café y 75% excreta (figura 5).

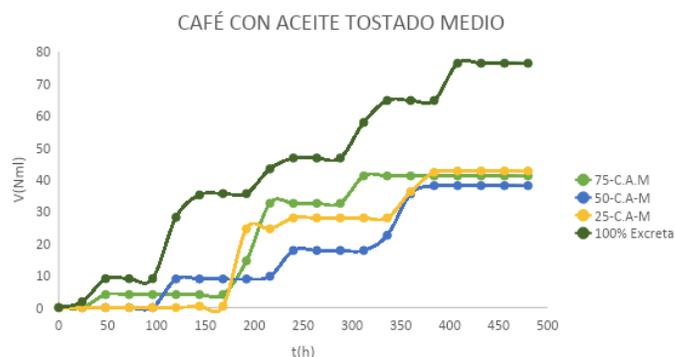


Figura 5. Biogás obtenido con café tostado medio con aceite.

Mientras tanto, para las muestras de café sin aceite, el mejor rendimiento se presentó con la composición de 75% de café sin aceite y 25% de excretas, con una producción de 74.42 Nml/gSV (figura 6). Cabe mencionar que, en este caso, el rendimiento del tratamiento fue muy similar al producido por el reactor inoculado con el 100% de excretas bovinas, por lo que estadísticamente en el análisis de ANOVA no hay diferencia estadística.

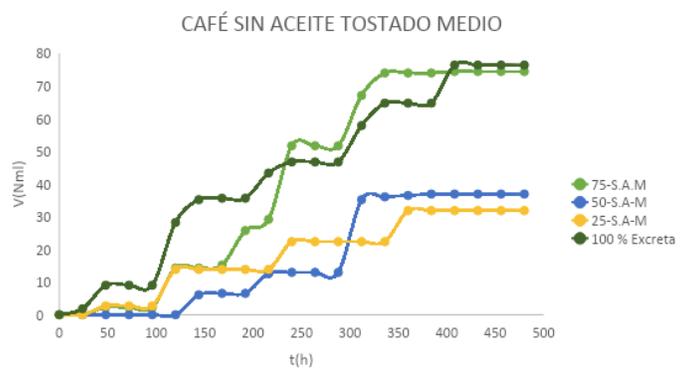


Figura 6. Biogás obtenido con café tostado medio sin aceite.

Por último, se observan los tratamientos con el café tostado oscuro, donde, en el caso de las muestras con aceite, se obtuvo que el mejor tratamiento fue el compuesto de 75% café y 25% excretas bovinas (figura 7), produciendo un volumen acumulado de 57.19 NmL/gSV.

Con respecto a las muestras sin aceite, se obtuvo que el mejor tratamiento fue el 50% café y 50% excretas bovinas (figura 8), con un rendimiento de 49.94 Nml/gSV.

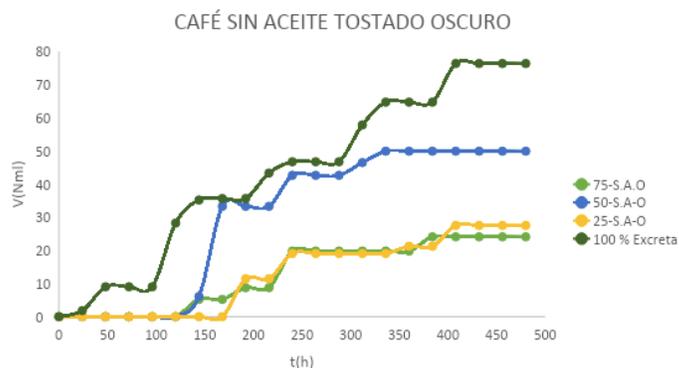


Figura 8. Biogás obtenido con café tostado oscuro sin aceite.

Para finalizar, se realizaron algunos análisis estadísticos con relación a la producción de biogás que se visualiza en la figura 9.

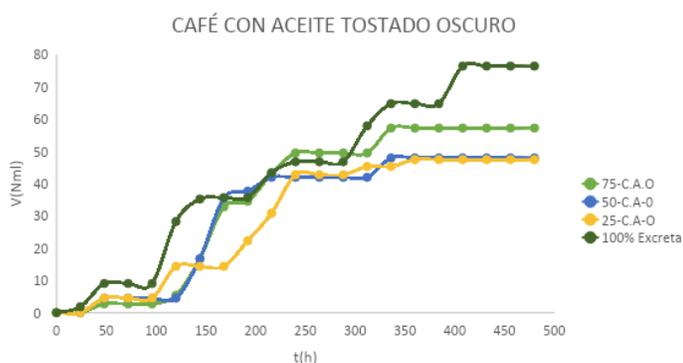


Figura 7. Biogás obtenido con café tostado oscuro con aceite.

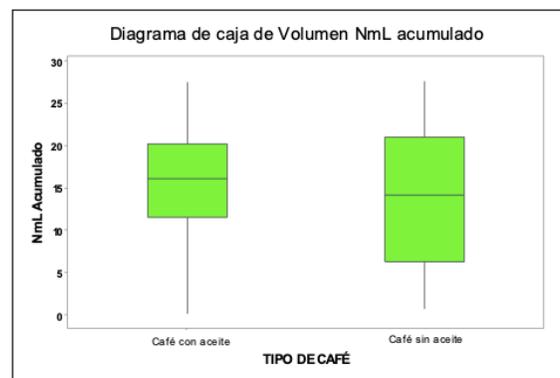


Figura 9. Biogás obtenido con café tostado oscuro con y sin aceite.

En la caja de alambre realizada para el tipo de café respecto al volumen generado de biogás, se muestra que el volumen de biogás es similar al utilizar café con aceite o sin aceite, encontrándose en un volumen de 14 a 15 Nml, aproximadamente, por lo tanto, no se observa diferencia significativa comparando ambos tipos de café. Cabe señalar que el tipo de café con tostado medio es el comúnmente consumido, por lo que los resultados de la gráfica 6 son relevantes porque el tratamiento con tostado medio y sin aceite mostró mejores resultados, y el hecho que sea sin aceite posibilita que se pueda obtener biodiesel como complemento.

CONCLUSIONES

A partir de los residuos de café (borra de café) que son generados en cafeterías y hogares mexicanos, se logró obtener aceite con un rendimiento superior al 11%, producto que puede tener aplicación en la rama de biocombustibles; sin embargo, y de acuerdo a los resultados obtenidos sobre la composición de ácidos grasos presentes, si el aceite obtenido se somete a un proceso de transesterificación, es posible que se dé un proceso de saponificación. Por lo tanto, este estudio

sugiere una esterificación previa, o bien un catalizador ácido y heterogéneo que impida la saponificación y lleve a la producción de biodiesel.

En la producción de biogás, el residuo de la extracción de aceite puede utilizarse para la co-digestión en cuanto se use en proporciones menores al 25% con relación a excretas bovinas, y sólo en el caso de café con tostado medio podría subir la relación hasta 75%, con lo que se podría darle un segundo uso al residuo de la borra. Los análisis de ANOVA muestran diferencias estadísticas entre los tratamientos de composición de muestras, pero con respecto a la presencia de aceite, no se encontraron diferencias significativas, por lo que el aceite no es un factor crítico en la producción de biogás. Finalmente, es importante destacar que el último de los residuos de café resultante es un área de oportunidad para el desarrollo de sustratos fertilizantes en el suelo agrícola.

BIBLIOGRAFÍA

Alfonso, J. (2013). "Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio". Centro de

- Investigación en Materiales Avanzados, S. C. Chihuahua, México.
- Álvarez, M. (2014). “Recuperación de componentes bioactivos a partir de borra de café”. Universidad de Guayaquil. Facultad de ingeniería. Guayaquil, Ecuador.
- Balseca, D. y Cabrera, J. (2011). “Producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café”. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Caetano *et al.*, (2012). Recovery of coffee capsules “energy capsules”. *Inversa* 2, 18-19.
- Kita y Figiel (2007). Effect of roasting on properties of walnuts. *Journal of food and nutrition sciences*, 20-26.
- Labatut, R.A., Angenent, L.T., Scott, N.R., (2011). Conventional mesophilic vs. thermophilic anaerobic digestion: a trade-off between performance and stability. *Water Res.* 53, 249–258.
- Lago, J. (2001). “Estudio de los índices de calidad en aceites de oliva de la provincia de granada”. Universidad de Granada, Granada, España.
- Londoña, H. (2017). “Aprovechamiento de pulpa de café para la producción de biogás en un reactor Flujo Pistón”. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.
- López, E. (2007). Extracción de aceite de café. *Revista de Ingeniería e investigación.* 27, 25-31.
- NMX-F-013-2000. Café puro tostado, en grano o molido, sin descafeinar o descafeinado. especificaciones y métodos de prueba.
- NMX-F-101-1987. Alimentos, aceites y grasas vegetales o animales. Determinación del índice de acidez.
- NMX-F-173-SCFI-2011. Café tostado con azúcar y café tostado mezclado con azúcar.
- NMX-F-174-S-1981. Alimentos para humanos. Determinación del índice de saponificación en aceites y grasas vegetales o animales.
- Olivera, A.; Cruz P.; Evelin M. (2005). Brazilian roasted coffee oil obtained by mechanical expelling: compositional analysis by GC-MS. Universidad Estadual de Campinas. Campinas, Brasil.
- Torres, A. Extracción de aceites a partir de semilla de granadilla. Universidad Señor de Sipán. Facultad de ingeniería. Pimentel, Perú.

Urribarri (2014). Evaluación del potencial de la borra de café como materia prima para la producción de biodiesel. *Multiciencias* Vol. 14, No. 2, 129-139.