

Viabilidad técnica de la producción de bioetanol a partir de los residuos de la semilla del aguacate

Resumen– En Honduras, el sector energético y de transporte depende en gran medida de los combustibles fósiles, por lo que se necesita una alternativa sostenible. Una opción podrían ser los biocombustibles, y es importante encontrar una alternativa a los combustibles fósiles que aproveche los recursos nacionales disponibles para su producción. El objetivo de la investigación es determinar la viabilidad técnica de la producción de bioetanol utilizando la semilla del aguacate mediante un proceso experimental que incluye hidrólisis química con ácido diluido y fermentación. Además, se realizaron balances energéticos desde el secado de la semilla hasta el destilado del bioetanol, con el fin de calcular la Tasa de Retorno Energético (TRE) del bioetanol producido. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, ya que se valida la obtención de bioetanol a partir de la semilla del aguacate, con sus respectivos gramos de alcohol que se lograron extraer. Se espera que la investigación realizada provoque una producción de bioetanol en el país con una materia prima que a nivel local no se ha realizado, y que ayude a una amplificación de la matriz energética del país.

Palabras claves: *Biocombustibles, bioetanol, semilla de aguacate, hidrólisis química, ácido diluido, fermentación.*

Abstract- In Honduras, the dependence on fossil fuels in the energy and transportation sector is notable, which is why an alternative is needed that could be biofuels, and it is necessary to find an alternative that takes advantage of national resources for generation. The objective of the research is to determine the technical feasibility of bioethanol production using avocado seed through an experimental process using chemical hydrolysis with dilute acid and fermentation. In the same way, get energy balances from the drying of the avocado seed, to the distillation of the bioethanol to obtain the Energy Return of Investment (EROI) of the bioethanol produced from the avocado seed. The results obtained were positive, since the obtaining of bioethanol from the avocado seed is possible, with their respective grams of alcohol that were extracted. It is expected that the research done will cause bioethanol production in the country with a raw material that has not been performed locally, and that it will help to amplify the country's energy matrix.

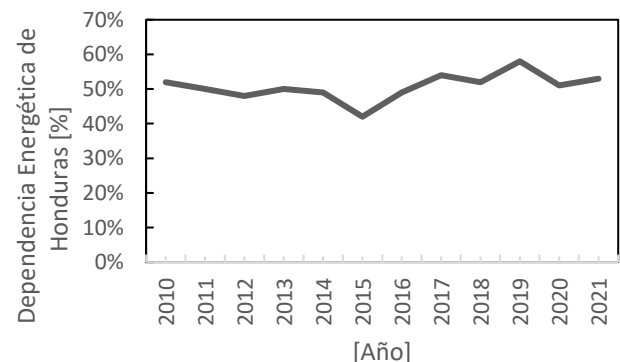
Keywords: *Biofuels, bioethanol, avocado seed, chemical hydrolysis, dilute acid, fermentation*

I. INTRODUCCIÓN

En Honduras, la dependencia hacia los combustibles fósiles es una realidad innegable. El país depende en una gran medida de los combustibles fósiles para generar energía y para el transporte de vehículos. Esto contribuye al aumento de los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero en el país, debido a que los combustibles fósiles son una fuente de energía no renovable, que emiten grandes cantidades de dióxido de carbono, metano y otros gases de efecto invernadero, estas emisiones son una de las principales causas del cambio climático global.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la factibilidad técnica de producir bioetanol a partir de la semilla del aguacate como materia prima. A diferencia de las investigaciones anteriormente mencionadas, esta investigación cuenta con la particularidad que tomará como parámetro con ácido diluido a un 0.025% y se calcula la cantidad de energía total que se requiere para obtener bioetanol.

Por otro lado, evaluar la factibilidad técnica de obtener bioetanol a partir de la semilla de aguacate como recurso energético primario. Con el fin de obtener una alternativa a los combustibles fósiles, animar la producción de bioetanol en el país para eliminar o disminuir la dependencia a los combustibles fósiles y disminuir las emisiones de gases a la atmosfera.



Gráfica 1 Dependencia Energética de Honduras del año 2010 al 2021

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de (SEN, 2022) [1]

Se espera tomar de referencia distintas técnicas y metodologías enfocadas en materiales lignocelulósicos con el fin de obtener bioetanol y emplearlo en la semilla de aguacate.

II. METODOLOGÍA

A. Etapa 1

Para el inicio de la etapa experimental, es necesario contar con la semilla de aguacate.

Se pesaron 3.3 kilogramos de semilla de aguacate, almacenados en bolsas plásticas transparentes. Fueron almacenados en la refrigeradora para su conservación para luego poder realizar el pretratamiento físico.

B. Etapa 2

- Pretratamiento físico

A la semilla se le eliminaron los residuos de la pulpa del aguacate mediante un lavado con agua corriente y se procedió a partir la semilla en cuatro pedazos para un mejor proceso de molienda. Se determinó el peso inicial de la semilla de aguacate mediante una balanza digital.

Su secado fue a través de un horno eléctrico de casa a una temperatura de 250°C durante un total de dos horas para eliminar la humedad presente.

La muestra fue molida con la ayuda de un molino de mano, esto ayudó a reducir su porcentaje de humedad inicial, ya que a medida se iba moliendo, sus líquidos se iban desprendiendo. Una vez molida la muestra, se realizó la trituración por medio de una trituradora de casa de 240 Watts, el cual se obtuvo un mayor grado de finura.

Luego se deja reposar para su enfriado con el fin de determinar su peso final mediante la balanza.

Una vez se obtiene el peso inicial y final de la muestra, se calculó el porcentaje de humedad que contiene la semilla de aguacate por medio de la siguiente ecuación obtenida de S. Gutiérrez mediante comunicación personal:

$$\%H = \frac{Pi - Pf}{Pi} \times 100 \quad (1)$$

donde:

%H = Porcentaje de Humedad [%]

Pi = Peso inicial de la semilla (semilla húmeda) [kg]

Pf = Peso final de la semilla seca [kg]

Luego se obtiene el porcentaje de materia seca mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \% \text{ de materia seca} \\ &= 100 \\ &- \% \text{ de humedad de la muestra} \end{aligned} \quad (2)$$

- Pretratamiento químico

El objetivo del pretratamiento es la eliminación de la lignina y lograr disolver la hemicelulosa. Para la realización del pretratamiento químico de la semilla de aguacate se realizaron dos etapas de hidrólisis con desintoxicación y neutralización.

Se utilizará la temperatura como variable y el ácido sulfúrico será el único agente químico. El proceso se realizó con una concentración diluida del 0.025%, como catalizador de la reacción de sacarificación de la hemicelulosa.

A continuación, se exponen las etapas hidrólisis que se dividió en primera etapa y su hidrólisis principal en la segunda etapa, esta información y proceso es obtenido de Wesley, 2022 [2].

Primera etapa de hidrólisis

Se agarró la semilla de aguacate y con el fin de obtener una relación entre sólidos y líquidos de 1:10, se pesó 80 gramos de la muestra de semilla de aguacate. Se introdujo a un matraz de 1000 ml donde se adicionó ácido sulfúrico al 0.025% v/v por medio de la ecuación 3 obtenida del libro “Introductory Chemistry”, Open Education Resource (OER), 2022 [3]:

$$\% \frac{v}{v} = \frac{Vs}{Vd} * 100 \quad (3)$$

donde:

Vs = Volumen del soluto [ml]

Vd = Volumen disolvente = Volumen del soluto + volumen de disolución [ml]

Se midieron los niveles de azúcar en la sustancia con la ayuda de un refractómetro. Utilizando el método planteado por Vázquez Morales, 2015, donde se llevó la solución a hervir durante dos horas a una temperatura de 120°C. Al finalizar se dejó enfriar a temperatura ambiente y se colocó en un matraz, donde se verificó el pH y los niveles de azúcar.

Detoxificación y neutralización

Se utilizó el método planteado por Triana Caranton, 2010 [4], donde una vez ya se realizó el pretratamiento con ácido diluido, se llevó a una temperatura estable de 60 °C por 30 minutos. Una vez se terminó el lapso de los 30 minutos, se neutralizó la solución agregando ácido acético al 4% hasta que el pH disminuyó a 4.

- Hidrólisis principal

Segunda etapa de hidrólisis

En esta etapa se provocó la degradación de la celulosa y lignina. Se realizó el mismo procedimiento expuesto anteriormente, con un único cambio en la temperatura para lograr hervir la solución, utilizando una temperatura de 150°C.

El proceso de detoxificación y neutralización se realizó igual sin ningún cambio.

- Medición de azúcares reductores

Se agregó 10 mL de Fehling A, 10 mL de Fehling B y 30mL de agua destilada para obtener el reactivo Fehling. Se prepararon

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

tres reactivos de Fehling: muestra uno, muestra dos y muestra de referencia con dextrosa.

La muestra de referencia se necesitó 2.5 gramos de dextrosa en 500 mL de agua destilada.

Se agregó la muestra en la plancha de calentamiento y agitación, a una temperatura entre 70-85 °C. Se agregaron dos gotas de azul de metileno para indicar el final del proceso de la muestra. La muestra uno, dos y muestra de referencia se agregó de manera paulatina con el reactivo Fehling hasta volverse de color rojo.

Luego de que la reacción de cada muestra se dio, se calcularon los gramos de titulantes que estaban presentes en el volumen mediante esta ecuación:

$$\frac{500 \text{ mL de solución}}{2.50 \text{ g de dextrosa}} = \frac{\text{Volumen gastado}}{\text{gramos de dextrosa en el gasto}} \quad (4)$$

Fuente (Fernández Segovia, Fuentes López, & García Martínez, 2013) [5]

• Fermentación

Se agrega levadura *Saccharomyces cerevisiae* en el líquido hidrolizado a una concentración de 5% p/v (Triana Caranton, 2010). Se procedió a sellarlo con una válvula de sellado de aire tipo S. Se agitó suavemente para lograr homogeneidad en la mezcla y fue llevado a baño maría a una temperatura de 30°C por 30 minutos. Pasados los 30 minutos, se ingresó a la incubadora a una temperatura de 30°C por tres días.

Para medir el porcentaje de p/v se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \frac{p}{v} = \frac{m_s [g]}{V_s [ml]} * 100\% \quad (5)$$

Fuente: ((OER) & Proyect, 2022) [3]

donde:

ms = Masa del soluto [g]

Vs = Volumen solución = Volumen del soluto + volumen de disolución [ml]

• Destilación

Una vez se realice la fermentación, se agitó la mezcla para eliminar burbujas de CO2 y se midió el contenido de alcohol en el líquido fermentado usando un alcoholímetro como herramienta. Se armó el destilador para que el líquido fermentado comience con el proceso de destilación, elevando la temperatura de ebullición de etanol a 78.32°C.

• Obtención de alcohol

Una vez se finalizó el proceso de destilación y medición del total destilado, se procedió a medir el contenido de etanol con el alcoholímetro.

Se calculó el contenido de alcohol puro en el destilado mediante la siguiente ecuación:

$$m_{Ap} = V_d * \frac{vol\%}{100} * 0.789 \quad (6)$$

donde:

mAp = Masa total de alcohol puro en el destilado [g]

Vd = Volumen del destilado [mL]

Vol.% = Contenido de alcohol destilado [%]

Densidad del alcohol etílico = 0.789 [g/cm³]

C. Etapa 3

Se midió la transferencia de masa neta a partir de la fórmula expuesta por Çengel & Boles, 2012 [6]:

$$\Delta m_{sistema} = m_e - m_s \quad (7)$$

donde:

Δm sistema = Transferencia de masa neta [g]

me = masa de entrada [g]

ms = masa de salida [g]

Basándonos en la primera ley de termodinámica, “la energía no se crea ni se destruye, se transforma”. El requerimiento energético total se realizó desde el secado de la semilla hasta el destilado del bioetanol. Usando la ecuación expuesta por Çengel & Boles, 2012 [6], se aplicaron los balances de energía durante el proceso.

$$\begin{aligned} \Delta E_{sistema} &= E_{entrada} - E_{salida} \\ &= (Q_{entrada} - Q_{salida}) + (W_{entrada} - W_{salida}) \end{aligned} \quad (8)$$

donde:

ΔE sistema = Transferencia de energía neta [kJ]

E entrada = Energía de entrada [kJ]

E salida = energía de salida [kJ]

Q entrada = transferencia de calor de entrada [kJ]

Q salida = transferencia de calor de salida [kJ]

W entrada = transferencia de trabajo de entrada [kJ]

W salida = transferencia de trabajo de salida [kJ]

Se calculó la transferencia neta de energía utilizando la Ecuación 8 de la cual se derivó, quedando así:

$$\Delta E_{sistema} = W_e - Q_s = \Delta H = mc_p(T_2 - T_1) \quad (9)$$

donde:

ΔE sistema = Transferencia de energía neta [kJ]

Qs = Calor de salida [kJ]

We = Trabajo de entrada [kJ]

ΔH = Transferencia de entalpía neta [kJ]

m = Masa [kg]

Cp = Calor específico a volumen constante [kJ/kg (K)]

T2 = Temperatura final [K]

T1 = Temperatura inicial [K]

Para obtener la energía solicitada de un equipo eléctrico se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$E = t \times P \quad (10)$$

Fuente: (Salazar, 2017) [7]

donde:

E= energía requerida en J [J]

t= tiempo de duración del proceso [s]

P = potencia del equipo [W]

Se calculó el EROI (Energy Return on Investment) o la Tasa de Retorno Energético (TRE) del bioetanol que se obtuvo a partir de la semilla de aguacate mediante la siguiente ecuación:

$$TRE = \frac{E_{obtenida}}{E_{invertida}} \quad (11)$$

donde:

TRE = Tasa de Retorno Energético [-]

E Obtenida = Energía obtenida del bioetanol producido [MJ]

E Invertida = Energía total invertida en el proceso de producción de bioetanol [MJ]

III. RESULTADOS

A continuación, se detallarán mediante la Tabla 1, los resultados obtenidos a lo largo del proceso de realización del proyecto, previamente explicado.

Se destiló 18 mililitros de la mezcla, con un porcentaje de etanol del 18%. Se obtuvieron 2.55 gramos de etanol a partir de 80 gramos de semilla de aguacate, obteniendo un poder calorífico de 68.8 kJ. Concluyendo que sí es posible la extracción de bioetanol a partir de la semilla del aguacate a través de la hidrólisis química con ácido diluido y fermentación alcohólica.

TABLA 1
RESULTADOS DE LA ETAPA DOS

| Proceso | Descripción | M1 | M2 | Unidad |
|---------------------------------|---|--------|--------|------------------|
| Pretratamiento físico | Porcentaje de humedad | 33.93% | 33.93% | |
| | Porcentaje de materia seca | 66.07% | 66.07% | |
| Pretratamiento químico** | pH | 4.26 | 4.26 | |
| | Concentración de azúcar | 4 | 4 | Grados Brix [°B] |
| Hidrólisis principal** | pH | 4.35 | 4.25 | |
| | Concentración de azúcar | 2 | 2 | Grados Brix [°B] |
| Medición de Azúcares Reductores | Volumen total de la mezcla a fermentar | 100 | 175 | Mililitros [mL] |
| | Cantidad de dextrosa en el total de la mezcla a fermentar | 0.121 | 0.281 | Gramos [g] |
| Destilación | Cantidad destilada | 18 | 31.5 | Mililitros [mL] |
| | Porcentaje de etanol en la muestra | 18% | 18% | |
| Obtención de Etanol | Masa de etanol en el destilado | 2.55 | 4.47 | Gramos [g] |

** Luego de la desintoxicación, neutralización y filtración del líquido hidrolizado

Fuente: elaboración propia

En la etapa tres se calculó la energía requerida para cada etapa del proceso de la obtención de etanol a partir de la semilla del aguacate como materia prima. Se observa el total de cuanta energía se necesitó en ambas muestras a lo largo del proceso (ver Tabla 2 y 3).

TABLA 2
ENERGÍA TOTAL REQUERIDA EN LA MUESTRA UNO

| Descripción | Energía requerida en el proceso | Unidad |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------|
| Pretratamiento físico | 4,502.01 | kJ |
| Pretratamiento químico | 12,860.56 | kJ |
| Hidrólisis principal | 13,854.01 | kJ |
| Destilación | 7,746.63 | kJ |
| Total, de energía requerida en la M1 | 38,963.21 | kJ |

Fuente: elaboración propia

TABLA 3
ENERGÍA TOTAL REQUERIDA EN LA MUESTRA DOS

| Descripción | Energía requerida en el proceso | Unidad |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------|
| Pretratamiento físico | 4,502.01 | kJ |
| Pretratamiento químico | 12,860.56 | kJ |
| Hidrólisis principal | 13,859.24 | kJ |
| Destilación | 7,789.35 | kJ |
| Total, de energía requerida en la M2 | 39,011.16 | kJ |

Fuente: elaboración propia

La TRE de la producción de bioetanol en la muestra uno es de 0.00170 y en la muestra dos de 0.00309, esto nos da a entender que la energía que se utiliza para la producción de bioetanol es mayor a la producida (ver Tabla 4).

TABLA 4
RESULTADOS DE LA TASA DE RETORNO ENERGÉTICO DE AMBAS MUESTRAS

| Muestra | Poder calorífico obtenido [MJ] | Energía requerida [MJ] | TRE |
|---------|--------------------------------|------------------------|----------|
| M1 | 0.06885 | 38.96 | 0.001767 |
| M2 | 0.12069 | 39.01 | 0.003094 |

Fuente: elaboración propia

IV. CONCLUSIONES

Se evaluó la factibilidad técnica para la obtención de bioetanol a partir de la semilla del aguacate en Honduras. Para poder obtener el bioetanol se realizó a nivel experimental de laboratorio como una alternativa a los combustibles fósiles debido a la dependencia del país hacia estos. La obtención del bioetanol se logró mediante un proceso de hidrólisis química

con ácido sulfúrico diluido a 0.025% y fermentación alcohólica durante tres días y medio a una temperatura de 30 y un pH de 4.23 y 4.35. Se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Es posible la obtención de bioetanol a partir de la semilla de aguacate mediante la hidrólisis química usando ácido diluido al 0.025%. Obteniendo una pureza de 18% y concentración de 25.54 g de etanol por litro.
- Usando los datos de la muestra uno, se necesitan 31.37 kg de semilla de aguacate para producir un kilogramo de bioetanol. Con los datos de la muestra dos se necesitan 17.9 kg de semilla de aguacate. Realizando un promedio entre ambas muestras, se deduce que se necesitan 24.63 kg de semilla de aguacate para obtener un kilogramo de etanol.
- Se necesita un promedio de energía requerida de 38,987.187 kJ. Se estima que en la etapa de pretratamiento químico y segunda etapa de hidrólisis es donde más energía se consume, siendo esta un 68.5%.
- Debido a los valores que se obtienen en la Tasa de Retorno Energético, se deduce que no sería rentable en términos energéticos ya que se consume más energía de la que se produce.

Entre las limitaciones de la investigación se encuentran: No se contó con un alcoholímetro de mayor precisión para medir la concentración de etanol en el bioetanol obtenido; al momento de la filtración en la segunda etapa de hidrólisis se dificultó debido a la consistencia del líquido (tipo arena) y se optó por otro filtro para lograrlo.

Se espera que la presente investigación se usada como una referencia a futuro, en investigaciones enfocadas a la mejora de este proceso con el fin de buscar una alternativa rentable a los combustibles fósiles.

AGRADECIMIENTOS

A la Ing. Nereyda Láinez y los instructores de laboratorio, Diego, Mario, Fernando, Gilberto y Fátima por su ayuda en el proceso experimental en el laboratorio de química.

A mis colegas, especialmente a Genevieve Wesley por el tiempo y ayuda brindada a lo largo de la investigación.

REFERENCIAS

[1] SEN, S. d. (2022). Balance Energético Nacional de Honduras año 2021. Tegucigalpa, Honduras.

[2] Wesley, G. (2022). Producción de Bioetanol de Segunda Generación, a partir de la cascarrilla de café por medio de hidrólisis química y fermentación.

[3] (OER), O. E., & Proyect, L. (2022). Introductory Chemistry .

[4] Triana Caranton, C. F. (2010). Producción de etanol a partir de residuos provenientes del cultivo de café [Tesis de Postgrado]. Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3465/cristianfer_nandotrianacaranton.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y 6

[5] Fernández Segovia, I., Fuentes López, A., & García Martínez, E. (2013). Cálculo del contenido en azúcares.

[6] Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). Termodinámica (séptima). McGraw-Hill. Obtenido de <http://joinville.ifsc.edu.br/~evandro.dario/Termodin%C3%A2mica/Material%20Did%C3%A1tico/Livro%20-%20Cengel/Termodinamica%20-%20Cengel%207th%20-%20espanhol.pdf>

[7] Salazar, R. (2017). LA TASA DE RETORNO ENERGÉTICO: SU IMPRTANCIA EN EL CONTEXTO ENERGÉTICO MUNDIAL Y NECESIDAD DE SU ANÁLISIS EN LA PRDUCCIÓN DE BIOCMBUSTIBLES[Tesis de Especialidad]. Universidad Tecnológica Nacional