

ARK: <https://n2t.net/ark:/87558/tekhne.26.2.2>

Elaboración de Etanol industrial de cáscara de banana (*Musa paradisiaca*)

*Laura Lander*¹, *Daniela Taborda*², *Miguel Pérez*³

<https://orcid.org/0009-0004-0394-2818>¹, <https://orcid.org/0009-0008-3989-153X>², <https://orcid.org/0000-0002-8237-8538>³

Universidad Metropolitana¹²³

Resumen

El presente trabajo de investigación se centró en la obtención de etanol de uso industrial a partir de la cáscara de banana. Para lograr esto, se diseñó una metodología que incluyó los siguientes procesos: obtención; selección y pretratamiento; hidrólisis alcalina y ácida; fermentación; filtración y destilación. Se seleccionaron tres variables de control mediante un diseño factorial 2k para optimizar el desarrollo del etanol: molaridad del ácido sulfúrico, cantidad de levadura y días de fermentación. La combinación óptima resultó ser 1,63 M de concentración del ácido, 0,57 g de levadura por cada 100 g de cáscara, y 10 días de fermentación. Las propiedades fisicoquímicas del destilado obtenido con mejor rendimiento de etanol fueron: grado alcohólico de 65 %v/v; índice de refracción de 1,362; porcentaje de etanol del 51 mL/g de cáscara; pH de 5,1. Además, mediante cromatografía de gases se caracterizó el destilado en: 5,4 % de metanol/100g de AA (alcohol anhidro), 0,06% de furfural/100g de AA, 16,6% de ésteres/100g de AA, 11,5 % de aldehídos/100g de AA y 66,7% de alcoholes pesados/100g de AA. El destilado obtenido se encuentra en la categoría de alcohol crudo según lo establecido por la Norma COVENIN 3370-98 y se obtuvo un rendimiento del etanol por unidad de masa de cáscara de banana del 53%.

Palabras clave: Etanol, fermentación, destilación, hidrólisis, cáscara de banana, rendimiento.

Elaboration of industrial ethanol from banana peel (*Musa paradisiaca*)

Abstract

The present research work focused on obtaining industrial ethanol from banana peels. To achieve this, a methodology was designed that included the following processes: obtaining, selection and pretreatment, alkaline and acid hydrolysis, fermentation, filtration, and distillation. Three control variables were selected through a 2k factorial design to optimize ethanol development: molarity of sulfuric acid, amount of yeast, and fermentation days. The optimal combination was 1.63 M acid concentration, 0.57 g of yeast per 100 g of peel, and 10 days of fermentation. The physicochemical properties of the distillate obtained with the best ethanol yield were: alcohol grade of 65% v/v, refractive index of 1.362, ethanol percentage of 51 mL/g of peel, and pH of 5.1. Additionally, the distillate was characterized by gas chromatography: 5.4% methanol/100g AA (anhydrous alcohol), 0.06% furfural/100g AA, 16.6% esters/100g AA, 11.5% aldehydes/100g AA, and 66.7% heavy alcohols/100g AA. The distillate obtained is categorized as raw alcohol according to COVENIN 3370-98, and the ethanol yield per unit mass of banana peel was 53%.

Keywords: Ethanol, fermentation, distillation, hydrolysis, banana peel, yield.

Elaboração de etanol industrial a partir da casca de banana (*Musa paradisiaca*)

Resumo

O presente trabalho de pesquisa teve como foco a obtenção de etanol industrial a partir da casca de banana. Para isso, foi projetada uma metodologia que incluiu os seguintes processos: obtenção, seleção e pré-tratamento, hidrólise alcalina e ácida, fermentação, filtração e destilação. Três variáveis de controle foram selecionadas por meio de um design fatorial 2k para otimizar o desenvolvimento do etanol: molaridade do ácido sulfúrico, quantidade de levedura e dias de fermentação. A combinação ótima foi de 1,63 M de concentração de ácido, 0,57 g de levedura por 100 g de casca e 10 dias de fermentação. As propriedades físico-químicas do destilado obtido com o melhor rendimento de etanol foram: grau alcoólico de 65% v/v; índice de refração de 1,362; porcentagem de etanol de 51 mL/g de casca; pH de 5,1. Além disso, o destilado foi caracterizado por cromatografia gasosa: 5,4% de metanol/100g AA (álcool anidro), 0,06% de furfural/100g AA, 16,6% de ésteres/100g AA, 11,5% de aldeídos/100g AA e 66,7% de álcoois pesados/100g AA. O destilado obtido é classificado como álcool bruto de acordo com a Norma COVENIN 3370-98 e o rendimento de etanol por unidade de massa de casca de banana foi de 53%.

Palavras-clave: Etanol, fermentação, destilação, hidrólise, casca de banana, rendimento.

i. INTRODUCCIÓN

Una de las principales motivaciones para buscar alternativas de obtención de productos mediante residuos orgánicos, está en revalorizar estos residuos y lograr reducir la contaminación causada por la incorrecta remoción final [1]. El etanol, es uno de los productos más usados actualmente, debido a que tiene diversas aplicaciones tales como: la fabricación de bebidas alcohólicas, ambientadores, perfumes, medicamentos, anticongelantes, desinfectantes, disolventes y aditivo para la gasolina aumentando el índice de octanos.

La importancia del etanol se basa en ser una fuente de energía futura. Por ello, el objeto del presente trabajo de investigación busca brindar una alternativa para los residuos de cáscara de banana, al ser usados como materia prima en la obtención de etanol de uso industrial.

Las cáscaras de banana presentan un alto potencial de uso como sustrato en los procesos de la fabricación de etanol; debido a que ofrecen un alto contenido de carbohidratos aptos para procesos de fermentación encaminados a la producción de alcohol. En estudios previos consultados, la producción de etanol mediante la cáscara de banana se divide en cuatro etapas, las cuales son detalladas a continuación:

Acondicionamiento de la materia prima: El objetivo del acondicionamiento es maximizar la accesibilidad a los azúcares, minimizar formación de subproductos que inhiban el desempeño microbiano durante la fermentación, además de ser económicamente eficiente [2]. En esta etapa se encuentra: pretratamiento e hidrólisis del sustrato a utilizar, con el fin de lograr la ruptura de los enlaces del material lignocelulósico.

Fermentación: La etapa fundamental en la producción de alcohol es la fermentación, en ella se produce la transformación de azúcares (glucosa) en etanol, mediante la ruta metabólica glucólisis y la regeneración del NADH; con la presencia de microorganismos, como la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

Filtración: Mediante un filtro poroso, se logra separar las partículas sólidas del líquido alcoholizado.

Destilación: Se sugiere la destilación fraccionada para la separación de alcoholes debido a que la diferencia en los puntos de ebullición es inferior a 100 °C. En figura 1 se muestra el diagrama general de la metodología para obtención de etanol industrial.

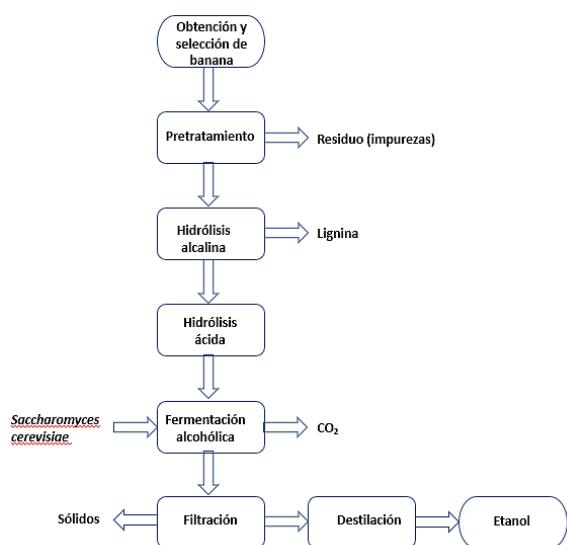


Figura 1. Diagrama general de la metodología para obtención de etanol.

ii. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Obtención y selección de banana

El proceso inicia con la obtención de la materia prima, para el caso de estudio, se estableció un proveedor único ubicado en La Florida, Caracas, Venezuela. En la figura 2 se muestra imágenes del producto seleccionado. Se inició con el pesado de la fruta entera, para continuar con la extracción de la cáscara de la banana. Luego, se seleccionaron las cáscaras aptas, que debían estar en condiciones óptimas, sanas y en buen estado, es decir, libres de daños, podredumbre y plagas. En su elección se consideró adecuado descartar aquellas que se encontraban en descomposición. Posteriormente, se realizó el pesaje de las cáscaras seleccionadas. A su vez, se caracterizaron las cáscaras mediante mediciones de pH y la determinación de su masa, con el fin de determinar su rendimiento a lo largo del proceso de obtención de etanol.



Figura 2. Obtención y selección de banana

2. Pretratamiento

Las cáscaras seleccionadas fueron principalmente lavadas con abundante agua, para eliminar la tierra y residuos de pesticidas utilizados en los cultivos. Una vez limpiada la cáscara, se procedió a triturar las cáscaras hasta obtener una biomasa homogénea y de aproximadamente 1 mm cada una. En la figura 3 se muestra cómo luce el resultado final de la etapa. Este proceso según la referencia [3] tiene la finalidad de “disminuir el tamaño de la materia prima y obtener una mayor área de contacto entre el sustrato, la levadura y los reactivos químicos para facilitar la fermentación alcohólica”. Y según la referencia [4], a su vez facilita romper parcialmente los enlaces de lignina.



Figura 3. Pretratamiento

3. Hidrólisis

El objetivo de esta etapa fue romper los enlaces del material lignocelulósico para facilitar la producción de azúcares fermentables y potenciar la acción de los microorganismos durante la fermentación.

3.1. Hidrólisis alcalina.

Con una relación de solución de NaOH 0,1M y materia prima de 1:10. Se agitó la mezcla hasta ser homogénea, posteriormente se llevó la mezcla al autoclave a 121°C durante 15 minutos, utilizando la función de esterilización, tal como indica [5]. Esta etapa se señala en figura 4.

Al finalizar el proceso, se dejó reposar la muestra 40 - 45 min hasta alcanzar la temperatura ambiente (26°C); la biomasa pretratada fue lavada con agua destilada con el fin de obtener un pH neutro, siguiendo lo indicado por [4].



Figura 4. Hidrólisis alcalina

3.2. Hidrólisis ácida.

La hidrólisis se llevó a cabo adicionando 50 ml de ácido sulfúrico 1,63 M por cada 100 gramos de cáscara de banana, siguiendo lo planteado por [6]. Se hidrolizó por un período de 20 minutos a una temperatura de 155°C, como lo reportado por [4].

Luego se ajustó su pH ácido a ligeramente ácido de 6 - 6,3 con 2,67 g de NaOH (hidróxido de sodio) sólido de 99,4% de pureza, para obtener el pH adecuado para el crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* como indica [7]. En la figura 5 se observa este proceso.



Figura 5. Hidrólisis ácida

4. Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica es un proceso biológico anaeróbico en ausencia de oxígeno originado por las enzimas de las levaduras sobre los hidratos de carbono [8].

El proceso de fermentación, que se muestra en la figura 6, se llevó a cabo durante 10 días, a una temperatura constante de 20°C y presión atmosférica alrededor de 883 mmHg. Por otro lado, la cantidad de levadura a utilizar fue de 0,57 g para 100 gramos de cáscara de banana. Se activó

previamente la levadura añadiendo azúcar casera en relación 1:1 en 50 mL de agua destilada, durante un tiempo de reposo promedio de 20 minutos [9].



Figura 6. Fermentación

5. Filtración

Una vez transcurrida la fermentación se obtuvo un mosto, el cual fue filtrado con una manga de tela con el fin de separar la biomasa, ver figura 7. A su vez, se arrastraron los residuos sólidos con agua destilada para reducir las pérdidas de mosto. Al finalizar, la biomasa fue desechada y la solución obtenida fue destilada



Figura 7. Filtración

5. Destilación

Para llevar a cabo el proceso de destilación se realizó el montaje correspondiente a una destilación fraccionada. Durante todo el proceso se tuvo que controlar la temperatura ya que gracias al conocimiento de su valor se conoce el tipo de alcohol que se estará destilando, como lo indica [7]. Ver figura 8.

El proceso se inicia calentando la muestra a través de una manta de calentamiento, la cual aumentará la temperatura del balón en donde se encuentra la solución junto a 5 perlas de ebullición. Por otro lado, la columna de reflujo estaba conectada a un Cole-Parmer Polystat, mantenido a una temperatura constante de 14°C, cuando la temperatura del destilado alcanzó los 70°C se inició

el tiempo de destilación y con un cronómetro digital se registró el tiempo transcurrido. Posteriormente se recolectaron dos cortes de destilado, el primero cuando la temperatura se mantuvo entre 75 - 83°C, rico en compuestos volátiles y el segundo en el rango de 85 - 90°C, rico en etanol libre de compuestos indeseables, como lo indica [10]. Por último, se finalizó el proceso al evidenciar un salto en la temperatura mayor de 90°C. Seguido a esto, se recoge el destilado y su volumen final.



Figura 8. Destilación

iii. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Obtención, selección y pretratamiento

En el proceso de obtención y selección se obtuvo un porcentaje de masa de cáscara de banana del 36,00%, a su vez se tuvo una pérdida de cáscara de banana inicial promedio del 4,45%, debido al proceso de limpieza de impureza y cortado de los trozos en mal estado, como lo explicado anteriormente.

2. Hidrólisis alcalina

Una vez finalizado el pretratamiento, se dio inicio a la hidrólisis alcalina. En esta etapa se buscó facilitar la producción de azúcares fermentables, mediante el rompimiento de enlaces complejos de hemicelulosa y lignina para obtener azúcares simples fermentables. Se utilizó un autoclave a 121°C durante 15 minutos (función esterilizar), para llevar a cabo el proceso. El tiempo total fue de 110 minutos, incluido los 40 min de enfriamiento de la muestra.

En tal sentido se obtiene un pH de 14 y 7 \pm 0,1, al inicio y final del proceso respectivamente; mientras que en el caso de los grados Brix se tiene 1,6 y 6,5, en donde se observa que el aumento de los grados Brix en el proceso debido al rompimiento de los enlaces complejos anteriormente mencionados y por tanto se ha observado la degradación de la hemicelulosa. El pH se neutralizó, con agua

destilada hasta obtener un pH neutro, una vez culminado el proceso, para adecuar las condiciones óptimas al inicio de la hidrólisis ácida y disminuir el consumo del reactivo. El tiempo total fue de 110 minutos, incluido los 40 min de enfriamiento de las muestras.

3. Hidrólisis ácida

Se reportó un tiempo total de aproximadamente de 40 minutos, donde se registró un pH inicial de 3,1 \pm 0,1, al finalizar el proceso de hidrólisis el pH obtenido fue de 1,9 \pm 0,1, mientras que se evidenció el aumento en los grados Brix de 6,5 a 15,7.

De acuerdo con los resultados de la hidrólisis ácida, se cumple con la establecido por [11], para iniciar posteriormente el proceso de fermentación "el rango adecuado se encuentran entre 10° y 15° Brix para evitar una plasmólisis de la levadura". Según lo reportado por el proveedor el pH óptimo de la levadura es 6,3, por lo que se procedió a realizar una neutralización con 2,67 g de NaOH (hidróxido de sodio) sólido de 99,4% de pureza.

También se observó el aumento de los grados Brix al finalizar el proceso, debido al rompimiento de los enlaces complejos anteriormente mencionados, lo que valida que la degradación de la lignina y hemicelulosa fue satisfactoria.

Además, los procesos de hidrólisis alcalina y ácida fueron necesario para eliminar la lignocelulosa presente en la cáscara de banana y obtener azúcares fermentables (glucosa, fructosa, maltosa), que sirva de nutriente para el microorganismo *Saccharomyces Cerevisiae* en la fermentación alcohólica.

4. Fermentación alcohólica

En el proceso de fermentación se realizó el seguimiento a las mismas variables de manera que se obtuvo una disminución del pH de 6,2 a 5,2; esto se debe porque al producirse el consumo de azúcares, el pH disminuye por la producción de glicerol y ácidos orgánicos [12]. En el caso de los grados Brix el decrecimiento fue significativo de manera de que el proceso inicio con una medición de 15,7 y al culminar el proceso de fermentación se obtuvo 2,8; debido a que, en esta etapa, los microorganismos actúan de forma anaeróbica sobre los azúcares fermentables obtenidos de la cáscara, produciendo etanol y dióxido de carbono durante el metabolismo de la glicolisis, tal como lo reportado por [4].

Por otro lado, es importante resaltar que, si los azúcares no fueron consumidos en su totalidad, la razón se encuentra en que las condiciones de fermentación no fueron óptimas para el desarrollo de la levadura, como consecuencia de esto su acción es inhibida a cierto punto en su metabolismo [11].

5. Filtración

Mediante este proceso, se separaron los sólidos suspendidos del mosto fermentado, utilizando un medio poroso descrito en la metodología, que retiene los sólidos de mayor tamaño y permite el paso de líquido y partículas de menor tamaño. El líquido filtrado se caracterizó con un color rojizo y olor a éter y alcohol.

5. Destilación

La destilación de tipo fraccionada por lotes y se registraron cuatro temperaturas a lo largo del proceso de destilación, dichas temperaturas son reportadas en la Tabla I.

Tabla I. Temperaturas a lo largo del proceso de destilación.

Experimento	Temperatura inicial (primera gota) (°C) ± 0,1	Temperaturas constantes del proceso (°C) ± 0,1	Temperatura final (°C) ± 0,1	Tiempo de destilación desde la primera gota (min)
Muestra A	70,0	75,2 y 85,7	90,0	89

Como se puede evidenciar la primera gota del experimento fue obtenida a una temperatura de 70°C, el cual se encuentra en la temperatura de ebullición del etanol, manteniéndose durante todo el proceso entre 75,2°C y 85,7 °C, el proceso culminó al obtener una temperatura de 90°C debido a que dicha temperatura se encuentra fuera del rango de ebullición. Dicha muestra se caracterizaron por los resultados obtenidos (véase tabla II y III).

Tabla II. Temperaturas a lo largo del proceso de destilación.

Experimento	Densidad (g/mL) ± 0,1	Promedio densidad (g/mL) ± 0,1	Grado alcohólico %v/v	Promedio grado alcohólico %v/v
Muestra A	70,0	75,2 y 85,7	90,0	89

La densidad de los destilados sirvieron para tener noción sobre la presencia de etanol. Los valores teóricos de la densidad del agua y del etanol a 20°C son respectivamente de 0,9982 g/mL [13], y 0,797 g/mL [14].

Tabla III. Características del destilado (viscosidad cinemática, índice de refracción y promedio de etanol).

Experimento	Viscosidad cinemática (m ² /s) ± 0,1	Promedio de viscosidad cinemática (m ² /s) ± 0,1	Índice de refracción	Promedio índice de refracción	Porcentaje de etanol, %	Promedio porcentaje de etanol, %
Muestra A	2,45 x 10 ⁻⁶	2,42 x 10 ⁻⁶	1,360	1,360	51,57	51,58
	2,40 x 10 ⁻⁶		1,361		51,60	
	2,43 x 10 ⁻⁶		1,360		51,57	

En cuanto al porcentaje de etanol (véase la tabla III), se realizó una interpolación en la curva de calibración que relaciona el índice de refracción con el porcentaje de etanol presente en la muestra, como lo indicado en la figura 9; en tal sentido se obtuvo una función polinómica de grado 6 la cual se ajusta a un coeficiente de determinación (R²) de 0,9994, por lo que se induce que los resultados obtenidos de dicha función son confiables. En dicha función la variable X es representada por porcentaje de etanol presente en la muestra mientras que la variable Y representa el índice de refracción, a través de la herramienta Solver de Excel® se realiza una iteración para encontrar el valor más real del porcentaje de etanol presente en cada experimento los cuales fueron reportados en la tabla III.

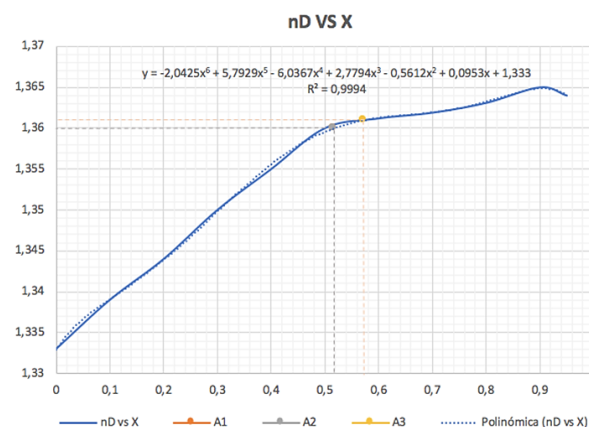


Figura 9. índice de refracción en función del % de etanol

Tabla IV. Características del destilado (cantidad en mL y pH)

Experimento	Cantidad de destilado (mL) $\pm 0,1$	Promedio de cantidad de destilado (mL) $\pm 0,1$	pH $\pm 0,01$	Promedio pH $\pm 0,01$
Muestra A	71,3	71,3	5,12	5,11
	71,3		5,09	
	71,2		5,11	

En la tabla IV se indican las cualidades del destilado de la muestra A.

Se obtuvo para el destilado las siguientes características fisicoquímicas, densidad de 0,8931 (g/mL) $\pm 0,11$; grado alcohólico de 65,33 %v/v; viscosidad cinemática de $2,42 \times 10^{-6}$ (m²/s) $\pm 0,1$; índice de refracción de 1,362; pH de $5,11 \pm 0,01$.

Por otro lado, partiendo de una masa de 100,1g se calculó el rendimiento del etanol por unidad de masa de cáscara de banana, dado el volumen del destilado obtenido de $71,3 \pm 0,2$ mL, por lo que se tiene un rendimiento del 53,0%.

En cuanto a su apariencia, se percibió de manera visual un líquido incoloro, con pequeñas partículas cristalinas y libre de sedimentos; lo cual a su vez cumple con lo establecido por la referencia [15].

Tabla V. Resultados obtenidos de la cromatografía de gases (UCV). AA (alcohol anhidro)

Grupo	Componente	Muestra A (mg/100 mL de AA)
Alcohol liviano	Metanol	6,6
Esteres	Acetato de metilo	ND
	Acetato de etilo	20
	Acetato de Isoamilo	ND
Alcoholes pesados	N-propanol	22,7
	Isobutanol	19,3
	N-butanol	1,3
	3-Metilbutanol	38,4
Aldehído aromático	Furfural	0,068
Aldehído	Acetaldehído	14,0
Pico no identificado	-	5,37

Tabla VI. Composición porcentual del destilado, mediante cromatografía de gases (UCV)

Grupo	Componente	Muestra A (mg/100 mL de AA)
Metanol	6,6	5,4
Furfural	0,068	0,055
Congenéricos (Ésteres)	20	16,6
Congenéricos (Aldehídos)	14,0	11,5
Alcoholes pesados	81,7	66,7

Las tablas V y VI indican los resultados obtenidos en los análisis realizados en el centro de química analítica de la Universidad Central de Venezuela. Se puede evidenciar que los compuestos acetato de metilo y acetato de isoamilo no se encuentran presentes en la muestra. La muestra A contiene 5 grupos principales los cuales son: Alcoholes livianos, viene representado por el componente del metanol el cual se encuentra a 6,6 mg/100 mL de AA; el segundo grupo es el de los ésteres el cual contiene acetato de etilo a 20 mg/100 mL de AA; el tercer grupo es representado por los alcoholes pesados, N-propanol, isobutanol, N-butanol y 3-metilbutanol los cuales contiene 22,7, 19,3, 1,3 y 38,4 mg/100 mL de AA respectivamente; en el grupo de los aldehídos aromáticos se encuentra el furfural con 0,068 mg/100 mL de AA; mientras que en el grupo de los aldehído se encuentra acetaldehído con 14,3. Es importante resaltar que existe un pico el cual no pudo ser identificado el cual contiene 5,37 mg/100 mL de AA.

Para caracterizar la muestra obtenida se hizo uso de la composición porcentual obteniendo como resultado que la muestra A contiene: 5,4 % de metanol, 0,055 % de furfural, 16,6% de congénicos (Ésteres), 11,5 % de congénicos (Aldehídos) y por último 66,7% de alcoholes pesados.

Según las características expresadas en la referencia [15], la muestra A cumple con lo establecido para la clasificación de alcohol crudo ya que: el grado de alcohol es 65,33°, el pH es de 5,11, los aldehídos expresados como acetaldehídos son 14,04 mg/100 mL de AA y la densidad de la muestra es de 0,9545 g/mL a 27°C.

iv. CONCLUSIONES

El proceso de obtención de etanol a partir de la cáscara de banana para productos y subproductos fue optimizado determinando los parámetros correspondientes a los grados brix y pH.

Se identificaron las propiedades fisicoquímicas tales como densidad, nivel de acidez, viscosidad cinemática, punto de ebullición e índice de refracción.

La combinación de variables medidas siendo: 1,63 M la concentración del ácido sulfúrico, 0,57 g la cantidad de levadura por cada 100 gr de cáscara de banana y 10 días de fermentación, es la óptima para llevar a cabo el proceso de obtención de etanol a partir de la banana.

La muestra A cumple con los requisitos establecidos por la Norma COVENIN 3370-98 para la clasificación de alcohol crudo.

v. AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Departamento de Química de la Facultad de Ciencias y al Departamento de Energía y Automatización de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Metropolitana en Caracas, Venezuela, por proporcionar las instalaciones necesarias.

vi. DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores que aparecen en el artículo declaran que no existe ningún conflicto potencial de intereses relacionados con el mismo.

vii. REFERENCIAS

- [1] A. Decheco, "Aprovechamiento de residuos de Ananas comosus (piña) para la producción de etanol por vía fermentativa de *Saccharomyces cerevisiae*". Universidad Le Cordon Bleu. 2016. <http://repositorio.ulcb.edu.pe/handle/ULCB/35>
- [2] C. Díaz y F. Herrera, "Producción de etanol combustible a partir de lignocelulosas. Popayán. Silo.tips, 2016. <https://silo.tips/download/produccion-de-etanol-combustible-a-partir-de-lignocelulosas>
- [3] A. Decheco, "Obtención de etanol por vía fermentativa de *Saccharomyces cerevisiae* a partir de cáscaras de plátano de seda (*Musa paradisiaca* L.)". Universidad Nacional Del Callao. 2019. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/5152>
- [4] G. Gómez y G. Martin, "Obtención artesanal de bioetanol mediante desechos de la cáscara de plátano" [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América]. Repositorio Institucional Lumieres. 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8687>

- [5] M. Suhag, A. Kuma y J. Singh, "Saccharification and fermentation of pretreated banana leaf waste for ethanol production," SN Applied Sciences, vol. 2, no. 8, Jul. 2020, <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03215-x>
- [6] G. Monsalve, F. John, V. Medina de Perez y A. Ruiz, "Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca". Dyna, vol. 73, no. 150, pp. 21-27. 2006 http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532006000300002&lng=en&tlng=es
- [7] A. Llangari, "Comparación del rendimiento y calidad de bioetanol a partir de la biomasa lignocelulósica de los pseudotallos de banano". [Trabajo de grado, Universidad de Politécnica Salesiana]. Repositorio institucional Universidad Politécnica Salesiana. 2018. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15682>
- [8] J. Cruz, "Evaluación de la producción de etanol a partir del bagazo de la caña de azúcar en la empresa Caña Brava a nivel de laboratorio" [Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio Institucional UNP. 2022 <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3507>
- [9] M. Barranzuela y M. Zola, "Estudio experimental de la obtención de bioetanol a partir de cáscara de plátano en Piura". Perú [Trabajo de grado, Universidad de Piura]. Repositorio institucional de la Universidad de Piura. 2017. <https://hdl.handle.net/11042/3305>
- [10] N. Spaho, "Distillation Techniques in the Fruit Spirits Production", Distillation - Innovative Applications and Modeling. InTech, Jun. 28, 2017. <https://doi.org/10.5772/66774>
- [11] J. Berruz, "Estudio comparativo del proceso de fermentación para obtención del ron a partir de los derivados de la caña de azúcar". Repositorio Biblioteca Pedro Grases de la Universidad Metropolitana. 2022. [https://unimet.ent.sirsi.net/client/es_ES/default/search/det](https://unimet.ent.sirsi.net/client/es_ES/default/search/detailnonmodal/ent:$002f$002fSD_ILS$002f0$002fSD_ILS:132870/one?qu=berruz)
- [12] M. Galvis, "Estudio del proceso de fermentación de glucosa para la producción de bioetanol a partir de levaduras nativas" [Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander]. Biblioteca Universidad Industrial de Santander UIS. 2009. http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa_detalle_matbib.jsp?parametros=151201%20111
- [13] M. Tanaka, G. Girard, R. Davis, A. Peuto y N. Bignell, "Recommended table for the density of water between 0 °C and 40 °C based on recent experimental reports". Metrología, vol. 38, no. 4, pp. 301–309. 2001. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/38/4/3>
- [14] QUIMIPUR. (s.f). "Alcohol etílico 96\$ QP". <http://quimipur.com/productos/productos-quimicos/alcohol-etilico-96>
- [15] Norma Venezolana COVENIN. "Alcohol etílico para la preparación de bebidas alcohólicas". (Norma número. 3370). 1998. <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/3370-98.pdf>