



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO EN PIURA

Mayra Zola-Gonzáles, Manuel
Barranzuela-Puémape, Catherin Girón-
Escobar, Dante Guerrero-Chanduví

Lima, agosto de 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA

Zola, M., Barranzuela, M., Girón, C. y Guerrero, D. (2017). Estudio experimental de la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano en Piura. En E. Carrera (Dir.), *I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos III Congreso Regional IPMA – LATNET*, (pp. 105-117). Lima: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.



Esta obra está bajo una licencia
[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

I CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y DIRECCIÓN DE
PROYECTOS
III CONGRESO IPMA-LATNET

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR
DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO EN PIURA**

Mayra Zola, Manuel Barranzuela *, Catherin Girón, Dante Guerrero

Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Av. Ramón Mugica 131 – Urb. San Eduardo, Piura,
Perú.

* Autor en correspondencia: Barranzuela, Manuel.

Correo electrónico: manuel.barranzuela@pregrado.udep.edu.pe

Palabras clave: Plátano, Bioetanol, Chifles, Innovación.

RESUMEN

A septiembre del 2016, la exportación anual de chifles se incrementó en 12%, alcanzando los US\$10.7 millones. Asimismo, los biocombustibles se han convertido en sustitutos ideales de los derivados del petróleo, debido a su baja cantidad de emisiones y a la alta volatilidad en el precio del petróleo. El presente artículo muestra el resultado del proyecto de innovación e investigación, que tiene como objetivo principal realizar un estudio experimental para la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano, con la finalidad de brindar una oportunidad de negocio a las empresas productoras de chifles en la ciudad de Piura. La investigación presenta como resultado la obtención de bioetanol, incoloro y con una pureza de 95%, que sería propuesto para su aplicación en cocinas acondicionadas en la elaboración de chifles. A lo largo del artículo se realiza un análisis bibliográfico sobre el proceso de obtención de bioetanol, y las metodologías de recogida de información para la definición de los materiales, equipos, instrumentos y monitoreo de las principales variables de control. Finalmente, se expone el método experimental y las técnicas que definieron el desarrollo y ejecución de las experimentaciones.

Keywords: Banana, Bioethanol, Chifles, Innovation.

ABSTRACT

As of September 2016, the annual exportation of chifles increased in 12%, reaching US\$ 10.7 million. As well, the biofuels have become in the ideal substitutes of the oil derivatives, due to their lower amount of emissions and the high volatility of the oil prices. The present article shows the results of an innovation and research project, which has as main objective develop an experimental study of the bioethanol production from banana peel with the purpose to offer a business opportunity to the producing enterprises of chifles in the Piura city. The research presents as result the obtainment of bioethanol, colourless and with 95% of purity, which would be proposed for its application on conditioned cuisines for chifle's manufacturing. Throughout this article a bibliographic analysis it's made about the process of the bioethanol obtaining, and the methodologies for collecting information for the definition of materials, equipment, instruments and the main control variables monitoring. Finally, it expose the

experimental method and the techniques that define the experimental tests development and execution.

1. Introducción

El consumo acelerado de los combustibles fósiles y la incertidumbre del calentamiento global durante la última década, ha incrementado de manera inevitable el interés comercial por los combustibles renovables (Halim et al., 2012). El bioetanol es visto como una atractiva solución para aliviar la existente dependencia de los combustibles derivados del petróleo.

Actualmente, la producción de bioetanol es sintetizada a partir de un proceso de fermentación anaeróbica de las moléculas de glucosa presentes en la biomasa de diferentes cultivos alimenticios como la caña de azúcar, maíz, entre otros (Vázquez & Dacosta, 2007). Evaluando el proceso, se ha identificado a la cáscara de plátano como una materia prima prometedora.

Este estudio experimental demuestra la viabilidad del uso de la cáscara de plátano como materia prima para la producción de bioetanol, a través de la realización de una serie de pruebas experimentales basadas en el método científico, en las cuales las variables de control tales como el pH, °Brix y la temperatura se fueron alterando para obtener un bioetanol de pureza mayor a 95% de alcohol. Entre los procedimientos utilizados se encuentran la hidrólisis ácida, fermentación anaeróbica y destilación fraccionada expuestos en otras investigaciones (Escalante & Fuentes, 2013).

El éxito de la investigación abre puertas a futuras investigaciones sobre el desarrollo de aplicaciones y alternativas que generen mayor productividad y rentabilidad para las empresas productoras de chifles, aprovechando al máximo el recurso del que disponen. Como prueba de ello, la presente investigación forma parte de un proyecto orientado hacia la industria de chifles en la región Piura (Zola et al., 2016).

2. Metodología

Se define como metodología principal el método científico, el cual se presenta mediante una investigación con enfoque cuantitativo y diseño experimental probatorio. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación y se realiza una revisión bibliográfica. De las preguntas investigables se establece una hipótesis, se determinan variables de control; se diseña un procedimiento para ponerlas a prueba; se miden las variables en determinadas condiciones; se analizan los datos obtenidos utilizando métodos estadísticos y se extraen conclusiones respecto a la hipótesis (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

El objetivo principal de este trabajo es demostrar la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano mediante un estudio experimental, con la intención de resolver la dependencia de los combustibles fósiles y brindar la opción de una oportunidad de negocio para la industria de chifles en Piura. Por tanto, la interrogante que se resuelve en esta investigación: ¿es viable la producción de etanol usando cáscara de plátano como materia prima?

Para dar respuesta a la interrogante se plantea realizar pruebas experimentales para establecer una línea de producción a escala de laboratorio que sea eficiente y replicable en otros ambientes, teniendo en cuenta los materiales, equipos e instrumentos mínimos necesarios, con la finalidad de obtener un prototipo de bioetanol a partir de cáscara de plátano verde, que posea una pureza mayor a 95% de alcohol, sea incoloro y libre de

impurezas que pueda ser propuesto para su aplicación en cocinas acondicionadas en la industria chiflera en Piura.

2.1 Hipótesis

La presente investigación plantea como hipótesis la obtención de bioetanol con una concentración mayor a 95% de alcohol, incoloro y libre de impurezas, usando la cáscara de plátano o banano como materia prima.

2.2 Consideraciones Iniciales

Antes de realizar las pruebas de laboratorio, se definen conceptos y premisas iniciales de cómo llevar a cabo la experimentación, de tal manera que se estandaricen operaciones y controles para el éxito de la misma. Las consideraciones iniciales más importantes son:

- Prueba preliminar: Experimentación en donde sólo se realizan los procedimientos de transformación de la materia prima (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005).
- Prueba experimental: Experimentación en donde se realizan los procedimientos de transformación de la materia prima y el control de las variables preestablecidas, llevando un registro de las mediciones para su posterior análisis y comparación.
- Grado Brix (°Brix): Unidad de cantidad que sirve para determinar el cociente total de materia seca, en este caso, azúcares disueltos en un líquido.
- pH: Medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidrógeno $[H]^+$ presentes en determinadas disoluciones (Montero, 2016).
- Para cualquier tipo de experimentación las condiciones de las pruebas no variarán entre mediciones respecto a la cáscara de plátano; es decir, que la materia prima siempre debe estar limpia. De no ser así, se corregirá mediante el procedimiento de limpieza en el pretratamiento.
- Estricto cuidado de mantener en condiciones óptimas los equipos de medición, encargados de controlar las variables preestablecidas.
- Especial cuidado en que no hubiese interferencias de algún otro agente externo al experimento.

2.3 Variables de Control

Las principales variables de control en cada prueba realizada son el °Brix, la temperatura (en °C) y el pH (Ver Tabla 1); ya que, de esta forma se puede plasmar gradualmente el avance de conversión del azúcar contenido en la cáscara de plátano en alcohol durante los procesos de hidrólisis y fermentación.

Tabla 1. Variables de control empleados

Variable de control	Definición	Importancia
°Brix	Unidad de medida de sólidos solubles presentes en una solución, expresados en porcentaje p/v de sacarosa.	Si la medida de °Brix en el mosto es muy baja, el grado alcohólico resultante será pobre.
pH	Mide la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución determinada.	Si se tiene valores muy altos o muy bajos de pH la enzima encargada de la fermentación deja de funcionar. Se busca el pH óptimo, en el cual la enzima muestra su mayor actividad y la velocidad es máxima.

Temperatura	Magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee.	Dado un determinado valor de pH la velocidad de reacción es máxima, esto se da a una temperatura óptima. Por arriba o por debajo de esta temperatura la enzima perderá efectividad y; por tanto, la velocidad de reacción disminuye.
--------------------	--	--

Fuente: Elaboración propia a partir de *ConceptoDefinición* (Venemedia, 2016) y *Obtención de bioetanol a partir de hidrólisis enzimática y fermentación de Arracacha* (Cabrera & Almeida, 2017)

2.4 Técnicas Utilizadas

Para desarrollar el trabajo experimental se utilizan metodologías, herramientas y técnicas propias de la Dirección de Proyectos, técnicas analíticas de control, el Juicio de Expertos, cuestionarios, encuestas, entrevistas, grupos focales, etc.

En primer lugar, se recopila y analiza la información sobre el proceso de obtención de bioetanol. Para esto, se utiliza el método de mapeo.

En segundo lugar, se hace uso de la técnica de Juicio de Expertos para la definición de los materiales, equipos, instrumentos y el monitoreo de las principales variables de control. Entre los más importantes equipos y materiales utilizados tenemos: el refractómetro analógico, papel tornasol, termómetro de varilla de vidrio y ácido sulfúrico, empleados para la medición de °Brix, pH, temperatura e insumo, respectivamente durante el proceso de hidrólisis; recipientes de plástico herméticos, jeringa hipodérmica, manguera plástica transparente y levadura activada, usados en el proceso de fermentación; tela organza para el proceso de filtrado y; finalmente, un tubo refractario, accesorios, calentador eléctrico, balón de vidrio y alcoholímetro, para el proceso de destilación.

Por último, se emplea el diseño experimental probatorio y la técnica de Prueba y Error, los cuales definen el desarrollo y ejecución de las pruebas experimentales y; por ende, la secuencia de los procedimientos y procesos. Asimismo, se hizo uso de herramientas informáticas de análisis y procesamiento de datos.

3. Trabajo Experimental

Como base se tomaron los resultados de la investigación de Velásquez, Ruiz y Oliveira (2010), en el cual exponen los fundamentos teóricos respecto a la viabilidad del uso de la cáscara de plátano como materia prima en el proceso de obtención de etanol, así como un análisis energético y exergético positivo. Además, con la finalidad de tener éxito en las experimentaciones y estandarizar procedimientos y mediciones se realizan pruebas preliminares y experimentales.

3.1 Pruebas Preliminares

Para empezar las pruebas preliminares primero se diseñó la línea de producción a escala de laboratorio a seguir en este procedimiento. Una vez definida, se decidió realizar una comparación entre dos tipos de cáscara de plátano verde, palillo y bellaco (Meneses, 2015), con el fin de fundamentar si es que había cierta diferencia en la calidad y concentración del bioetanol al finalizar todas las etapas.

Las variables de control preestablecidas fueron el peso de cada plátano usado, el peso de la cáscara de plátano, el tiempo de cocción de las cáscaras, el agua añadida en la hidrólisis, la cantidad de ácido clorhídrico de concentración 2 M (molar) añadido en la hidrólisis y el tiempo de hidrólisis.

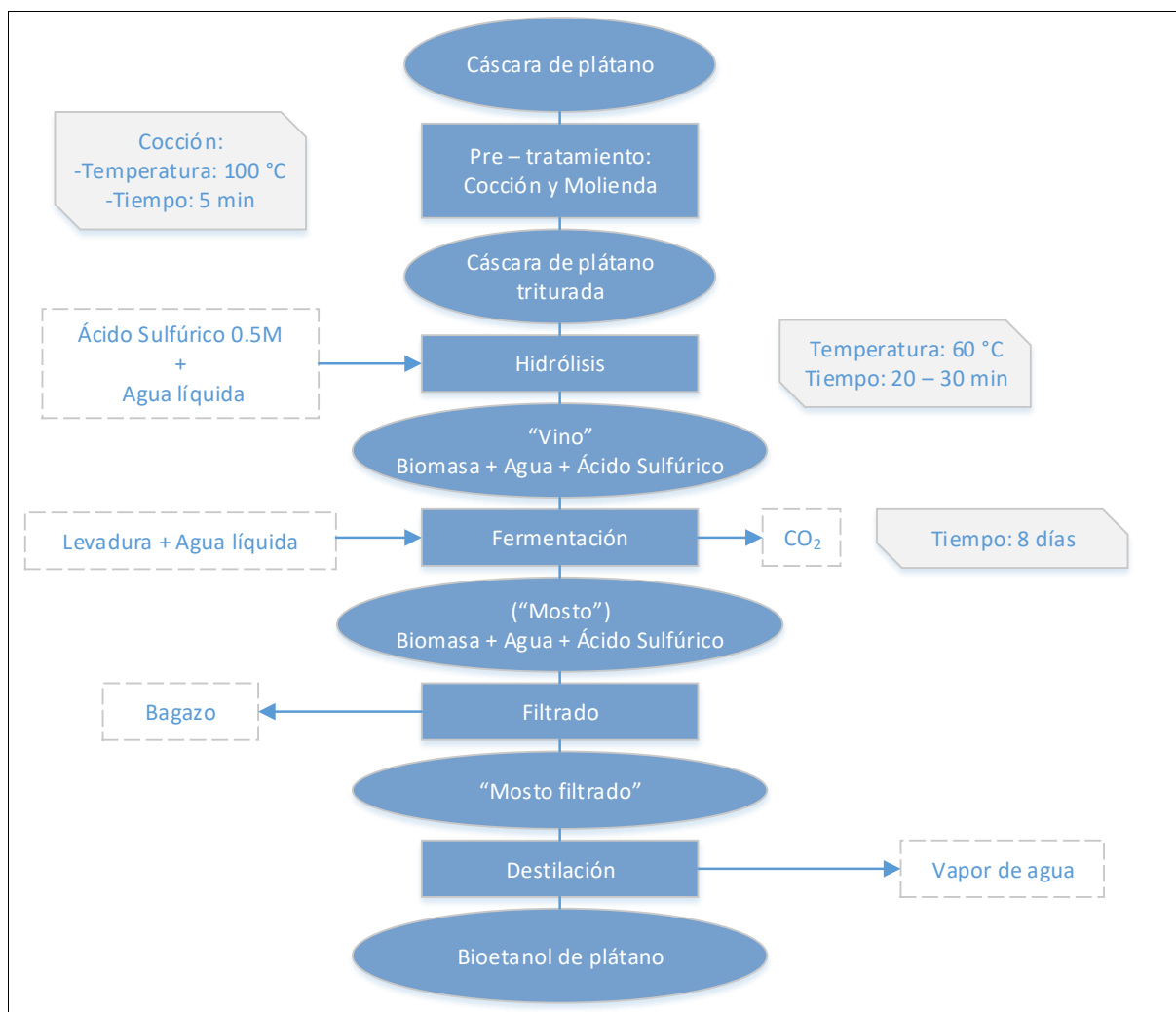
Los resultados obtenidos muestran que, en promedio, el porcentaje en masa de la cáscara es 50.47%, aproximadamente la mitad del peso total de la fruta. El tiempo de cocción de la cáscara de plátano verde tipo palillo fue de 10 minutos y el de tipo bellaco fue de 12. En el proceso de hidrólisis se utilizó 250 mL de agua, entre 80 y 90 gotas de ácido clorhídrico y el tiempo promedio de hidrólisis fue de 3.6 minutos.

Después de realizar la hidrólisis, la mezcla de cada tipo de plátano fue colocada por separado en un recipiente de plástico hermético y conectado a otro mediante una manguera fina para pasar por el proceso de fermentación durante 8 días.

3.2 Pruebas Experimentales

Tras realizar las pruebas preliminares se modificó el procedimiento empleado hasta entonces (Ver Figura 1), en este caso, se utilizó ácido sulfúrico en lugar de ácido clorhídrico como afirma Marirros Oliva (2014) y se adicionó el uso de levadura activada durante la fermentación como fue empleada en el estudio de Ana Zapata y Carlos Peláez (2010). Además, se decidió dividir las pruebas experimentales en dos secciones, sin neutralización y con neutralización de la mezcla, tratando de encontrar una solución que garantice la vida útil de la levadura durante el mismo proceso.

Figura 29. Diagrama de flujo del proceso de producción de etanol a escala de laboratorio



Fuente: Elaboración propia a partir de *Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca* (Monsalve, Medina & Ruiz, 2006)

a) Pruebas Experimentales sin Neutralización

Se decidió realizar una comparación entre dos tipos de cáscara de plátano bellaco, verde y maduro, esto con el fin de fundamentar si es que hay diferencia en la calidad y concentración del bioetanol al finalizar las pruebas experimentales.

Siguiendo el nuevo procedimiento y teniendo las siguientes variables de control: peso de cada plátano usado y peso de la cáscara; se obtuvo que, a diferencia de las pruebas preliminares el porcentaje en masa de la cáscara con respecto a la masa total de la fruta fue menor, en promedio 43.5%, debido a que se utilizó de manera estándar el plátano bellaco.

Por otro lado, se realizó el proceso de cocción obteniendo tiempos de 8 minutos y 12 segundos para el plátano verde y 9 minutos y 13 segundos para el plátano maduro. Después, se realizaron mediciones de control de pH y °Brix, las cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Muestra de control antes del proceso de hidrólisis

N° muestra	Cáscaras de plátano verde		Cáscaras de plátano maduro	
	pH	°Brix	pH	°Brix
1	6.5	2	6	2.2
2	6.5	2.1	6	2.2
3	6.5	2	6	2.2
4	6.5	2	6	2.4
5	6.5	2	6	2.8

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al proceso de hidrólisis, se utilizaron en promedio 500 mL de agua, 385 mL de ácido sulfúrico con concentración 0.5 M, 700 gr de cáscara de plátano, durante un tiempo promedio de 25 minutos y manteniendo una temperatura constante de 60 °C. Después de ejecutado este proceso se tomaron las mediciones de pH y °Brix a las muestras respectivas, cuyos resultados se exponen en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos de pH y °Brix después del proceso de hidrólisis

N° muestra	Cáscara de plátano verde		Cáscara de plátano maduro	
	pH	°Brix	pH	°Brix
1	1	4	1	4
2	1	3.8	1	3.2
3	1	4	1	3.4
4	1	4	1	3.2
5	1	3.9	1	3.2

Fuente: Elaboración propia

Uno de los procedimientos más importantes es la activación de la levadura; puesto que, garantiza el funcionamiento correcto de la levadura durante el proceso de fermentación,

para el cual se emplearon 4 g de levadura, 4 g de azúcar, 50 mL de agua, durante un tiempo de reposo promedio de 17.5 minutos.

Finalmente, el proceso de fermentación se monitoreó diariamente durante el transcurso de 8 días, tomando 5 muestras por día para medir los valores de pH y °Brix. Después, se procede a la destilación de la solución previamente filtrada.

b) Pruebas Experimentales con Neutralización

Para este tipo de prueba experimental se sigue el mismo procedimiento descrito para las pruebas sin neutralización, con la única salvedad que, antes del proceso de fermentación y, con el propósito de neutralizar el medio ácido en el que se llevará a cabo la adición de la levadura, se añade a la solución una base; en este caso se utilizó bicarbonato de sodio (NaHCO_3) alcanzando un valor de pH entre 5 y 6 (Sánchez et al., 2010).

Es importante que se tome como materia prima aquella que tenga la mayor cantidad de material lignocelulósico contenido; puesto que, se generará mayor cantidad de alcohol (Díaz & Herrera, 2016). Por lo tanto, en esta etapa se usó exclusivamente la cáscara de plátano verde. En la Tabla 4, se muestran los resultados de pH y °Brix antes del proceso de hidrólisis, y en la Tabla 5, estas medidas de control después del proceso de hidrólisis.

Tabla 4. Resultado de pH y °Brix de las muestras antes de la Hidrólisis

N° muestra	Cáscaras de plátano verde	
	pH	°Brix
1	5.5	2.4
2	5.5	2.5
3	5.5	2.5
4	5.5	2.5
5	5.5	2.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Resultado de pH y °Brix de las muestras durante la Hidrólisis

N° muestra	Tiempo (min)	pH	°Brix
1	7	1	3
2	14	1	3
3	21	1	3
4	28	1	3.2
5	35	1	3.4
6	42	1	3.8
7	49	1	4
8	56	1	4.4
9	63	1	5

10	70	1	5.6
----	----	---	-----

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de agua y bicarbonato de sodio para la neutralización fue de 100 mL y 8 g respectivamente. A continuación, se monitoreó el proceso de fermentación diariamente durante 8 días, recolectando 5 muestras por día para medir los valores de pH y °Brix. Luego, se prosigue con un proceso de destilaciones sucesivas para alcanzar un 95% de pureza en alcohol.

4. Discusión de Resultados

Como resultado de las pruebas preliminares se pueden mencionar algunas características físicas del mosto; como por ejemplo, el color y el aroma del mismo. El color de la mezcla con el transcurso de los días pasó de verde oscuro a verde claro. En cuanto al aroma, éste era desagradable y no consiguió tener el olor a alcohol característico de un proceso de fermentación exitoso, afirmación que fue corroborada durante el proceso de destilación; puesto que, si bien no se midieron los grados alcohólicos, era evidente que la solución tenía una concentración de alcohol casi nula.

Además, las pruebas preliminares aportaron 3 lecciones para mejorar el procedimiento empleado en las pruebas experimentales:

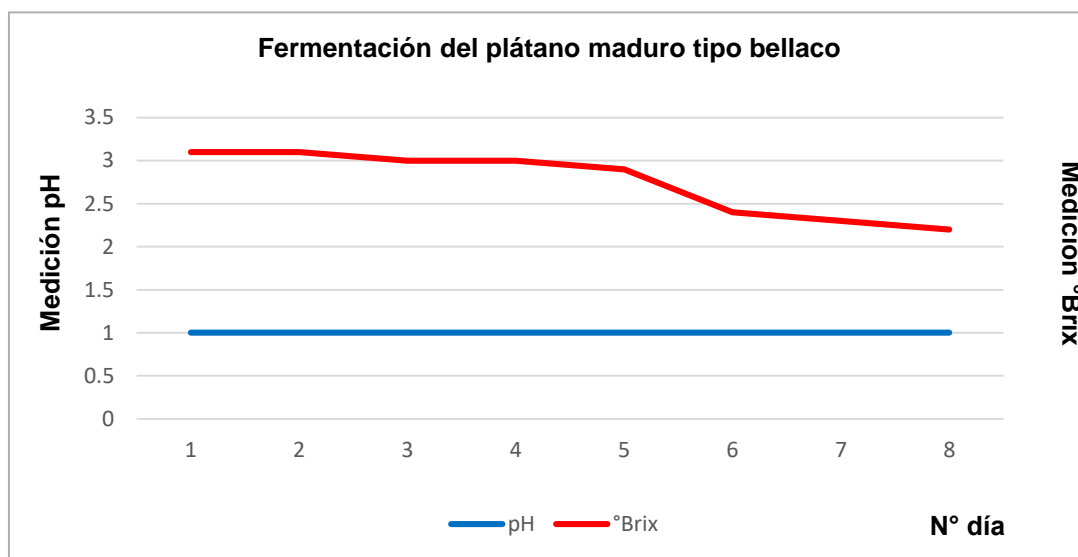
- El uso de ácido sulfúrico como catalizador en la etapa de hidrólisis ácida en lugar de ácido clorhídrico.
- Adición de levadura una vez finalizado el proceso de hidrólisis y luego de haber obtenido un valor de pH óptimo que garantice la vida útil de la levadura durante la fermentación.
- Mejorar los materiales utilizados en la etapa de fermentación. Se emplearon recipientes de plástico transparente y de sellado hermético. Por otro lado, se mejoró el diseño del dispositivo de fermentación, conectando una manguera plástica hacia un recipiente con agua, permitiendo así la liberación del CO₂ pero no el ingreso de aire al dispositivo.

Respecto a las pruebas experimentales, los resultados obtenidos en cada sección se exponen a continuación:

a) Sin Neutralización de Mezcla Hidrolizada.

En la Figura 2 y 3, se muestra una gráfica resumen de los resultados de las mediciones de pH y °Brix durante la fermentación de cada muestra.

Figura 2. Mediciones de pH y °Brix durante la fermentación de la muestra de plátano maduro

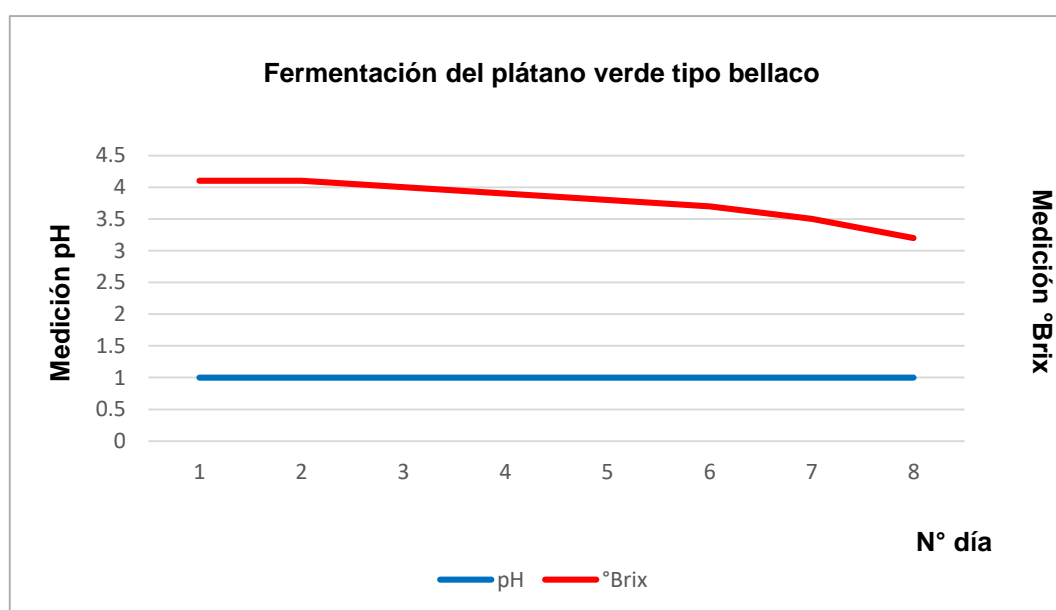


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2 se puede observar que conforme pasan los días, el °Brix disminuye, de 3.1° a 2.2° aproximadamente. Esto significa que la cantidad de azúcares (glucosa) en la solución, aunque muy poco, disminuye convirtiéndose en alcohol. El pH se mantiene constante en 1; por lo tanto, el medio sigue siendo ácido (debido al ácido sulfúrico).

En la Figura 3 se puede observar que conforme han pasado los días, el °Brix disminuye, de 4.1° a 3.2° aproximadamente. Esto significa que la cantidad de azúcares en la solución ha disminuido en menor cantidad que la del experimento anterior. El pH se mantiene constante en 1; por lo tanto, el medio sigue siendo ácido.

Figura 3. Mediciones de pH y °Brix durante la fermentación de la muestra de plátano verde



Fuente: Elaboración propia

Transcurridos los 8 días de fermentación se procede a la destilación de la solución previamente filtrada mediante el uso de organza. La destilación de una muestra de 600 mL para cada tipo de cáscara de plátano duró 2 horas, obteniéndose 86 mL de destilado producto de la cáscara de plátano verde con un contenido de 11.02% de alcohol; mientras que, para el tipo de cáscara de plátano maduro se obtuvo 75 mL de destilado con un contenido de 8.43 % de alcohol (Ver Tabla 6).

Tabla 6. Resultados obtenidos del proceso de destilación.

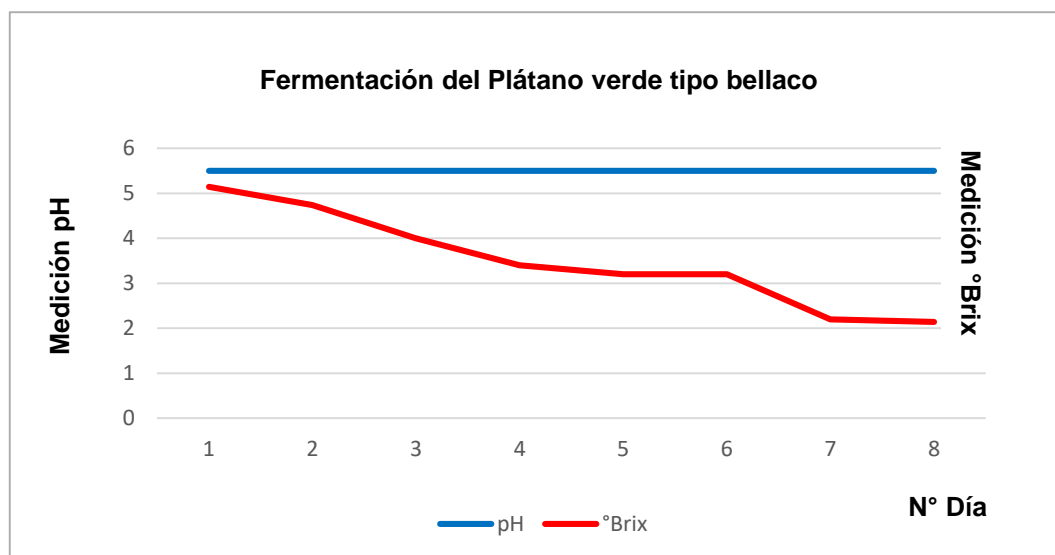
Tipo cáscara	Alcoholímetro (Grados)	Cantidad de mosto filtrado (mL)	Cantidad de Destilado (mL)	Solución Total (mL)	Pureza alcohol (%)	Grado alcohólico del mosto
Verde	0.06	600	86	158	11.02	0.02
Maduro	0.04	600	75	158	8.43	0.01

Fuente: Elaboración propia

b) Con Neutralización de Mezcla Hidrolizada.

En la Figura 4, se muestran los resultados de las mediciones de pH y °Brix durante la fermentación de la muestra neutralizada. Se puede observar que conforme pasan los días, el °Brix disminuye, de 5.4° a 2.1° aproximadamente, lo que significa que la cantidad de azúcares en la solución se convierten en alcohol. Estos resultados muestran una gran mejora respecto de las pruebas experimentales sin neutralización; ya que, la variación del °Brix final pasa de 0.9 a 3.3. El pH se mantiene constante en 5.5 y el medio es relativamente ácido.

Figura 4. Mediciones de pH y °Brix durante la fermentación de la muestra de plátano verde



Fuente: Elaboración propia

Transcurridos los 8 días de fermentación se procede a la destilación de la solución previamente filtrada. La primera destilación se realizó a partir de una muestra de 500 mL de solución fermentada, la cual duró 2 horas, obteniéndose 99 mL de destilado con

un contenido de 63.33% de alcohol. Posteriormente se realizaron 3 destilaciones más para alcanzar una pureza de 95% de alcohol, como se indica en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de la medición del grado alcohólico en las destilaciones sucesivas

N° destilación	Alcoholímetro (Grados)	Cantidad Destilado (mL)	Solución Total (mL)	Pureza alcohol (%)
1	0.33	99	190	63.33
2	0.25	64	190	74.22
3	0.18	38	180	85.26
4	0.1	18.9	180	95.24

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados encontrados se afirma la hipótesis; ya que, es posible obtener etanol a una pureza mayor al 95% utilizando la cáscara de plátano como materia prima. Se define que es mejor utilizar el plátano tipo bellaco verde y se validan los procesos planteados de hidrólisis, fermentación y destilación.

5. Evaluación Económica-Financiera para Implementación

Este estudio experimental también pretende ser punto de partida de una oportunidad de negocio para la industria de chifles en Piura. Por tanto, si una pequeña empresa productora de chifles decide producir su propio biocombustible a partir de sus desechos e implementar el diseño de línea propuesto en esta investigación, la siguiente información podría brindarle algunos conocimientos económicos-financieros.

De acuerdo al análisis de pérdidas y ganancias, considerando la inversión inicial (S/. 25, 441) y los distintos costos y gastos que conlleva la implementación del diseño de línea, se proyecta una utilidad neta de S/. 5, 544 al año, lo que indicaría el monto ahorrado.

Se define el punto de equilibrio diario de materia prima en 180 plátanos, cantidad que está muy por debajo de la demanda frecuente de una pequeña chiflería (1200 plátanos aproximadamente). Por este motivo, no habría inconveniente alguno respecto a la cantidad de materia prima necesaria para producir su propia demanda de bioetanol.

Con respecto a la tasa interna de retorno (TIR), esta resultó en un sólido 52%. Por otro lado, el valor actual neto (VAN) de la implementación del proyecto es de S/. 30, 241 lo que indica que el proyecto sí genera un ahorro significativo en el largo plazo. Finalmente, el rendimiento de la inversión en el tiempo se evalúa a través del Payback, el cual indica que el plazo de recuperación de la inversión hecha es de 5 años y 11 meses aproximadamente; es decir, que después de ese plazo el ahorro es neto.

6. Conclusiones

Esta investigación muestra resultados exitosos acerca de la producción de etanol a partir de cáscara de plátano o banano, bajo condiciones controladas a escala de laboratorio, aplicando diferentes métodos y procesos tales como hidrólisis ácida y fermentación anaeróbica. Su éxito abre las puertas a futuras investigaciones a nivel industrial; puesto que, se confirmó que la cáscara de plátano verde puede ser considerada como materia

prima para la producción de etanol, siendo un aporte para solucionar la dependencia de los combustibles fósiles y generar oportunidades de negocio.

Uno de los procesos clave en la etapa experimental es la fermentación, la cual debe desarrollarse en un medio controlado (pH entre 4 y 6); puesto que, si el medio es muy ácido produce la muerte de la levadura, teniendo como consecuencia una fermentación incompleta. Por ello, al neutralizar el ácido sulfúrico con bicarbonato de sodio el valor del pH se eleva hasta 5.5, permitiendo que la levadura se desarrolle y funcione como facilitadora en la conversión de glucosa en alcohol durante la fermentación.

En cuanto al proceso de destilación fraccionada, mientras más destilaciones sucesivas se realicen mayor concentración de alcohol se obtiene en el destilado; no obstante, se debe tener en cuenta que, mediante este proceso, sólo se puede llegar hasta 96% de pureza; si se quisiera aumentar la concentración hasta un 99.7%, como es el caso del etanol carburante utilizado para la obtención de gasohol, se debe añadir el proceso de deshidratación.

Por otro lado, se demuestra que hay una diferencia significativa entre la producción de bioetanol a base de cáscara de plátano tipo bellaco verde y maduro; ya que, dispone de mayor cantidad de material lignocelulósico que se transforma en etanol, logrando mayor pureza de alcohol.

Finalmente, el incremento de la demanda de chifles en el extranjero es una gran oportunidad para las empresas peruanas dedicadas al rubro, para empezar a apostar por alternativas que generen mayor productividad y rentabilidad en su negocio y aprovechar al máximo el recurso del que disponen. Esta investigación demuestra que una empresa chiflera pequeña puede satisfacer el punto de equilibrio de materia prima y obtener un ahorro si decide producir su propio biocombustible.

Referencias Bibliográfica

- Cabrera, E., & Almeida, J. (2017). *Obtención de bioetanol a partir de hidrólisis enzimática y fermentación de Arracacha*. Quito, Ecuador: UCE.
- Díaz, C., & Herrera, F. (2016). *Producción de etanol combustible a partir de lignocelulosas*. Popayan, Colombia: Universidad del Cauca.
- Escalante, J., & Fuentes, H. (2013). *Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura*. Piura, Perú: Universidad de Piura.
- Halim, R., Harun, R., Danquah, M., & Webley, P. (2012). Microalgal cell disruption for biofuel development. *Applied Energy*, 91(1), 116-121.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6° ed.). Ciudad de México, Mexico: Mc Graw Hill.
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Meneses, N. (2015, Junio 28). Vraem: Muestran 20 variedades de plátanos. *Diario Correo*. Obtenido de goo.gl/k0q1eV
- Monsalve, G., Medina, V., & Ruiz, A. (2006). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. *Dyna*, 73(150), 21-27.
- Montero, N. (2016). *pH*. *Teoriastar.blogspot*. Obtenido el 18 de septiembre de 2016, desde goo.gl/XXTK12

- Oliva, M. (2014). *Posible proceso productivo de etanol con residuos de banano y sus impactos en el Valle del Chira*. Piura, Perú: Universidad de Piura.
- Sánchez, A., Gutierrez, A., Muñoz, J., & Rivera, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Tumbaga*, 1, 61-91.
- Vázquez, H., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 8(4), 249-259.
- Velásquez, H., Oliveira, S., & Ruiz, A. (2010). Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano. *Revista Facultad de Ingeniería*, 1, 94-103.
- Venemedia. (2016). *ConceptoDefinición.de*. Obtenido el 12 de abril de 2017, desde <http://conceptodefinicion.de/ph/>
- Zapata, A., & Peláez, C. (2010). Producción en continuo de etanol a partir de banano de rechazo (cáscara y pulpa) empleando células inmovilizadas. *Revista Tumbaga*, 1(5), 49-60.
- Zola, M., Barranzuela, M., Castillo, D., Correa, E., & Rey, J. (2016). *Estudio experimental de la obtención de biocombustible a partir de cáscara de plátano y su uso en cocinas acondicionadas de la industria chiflera en la ciudad de Piura, Perú*. Piura, Perú: Universidad de Piura.