



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

“INFLUENCIA DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA Y DE LA FERMENTACIÓN EN EL MATERIAL LIGNOCELULÓSICO DE LAS CÁSCARAS DE PLÁTANO DE LAS VARIEDADES BELLACO, INGUIRI E ISLA”

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTADA POR:

Bach. : **Lucero Chávarry Lucía Del Rocío**

Asesora: **Dra. Noemí León Roque**

LAMBAYEQUE – PERÚ
2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“INFLUENCIA DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA Y DE LA
FERMENTACIÓN EN EL MATERIAL LIGNOCELULÓSICO DE LAS
CÁSCARAS DE PLÁTANO DE LAS VARIEDADES BELLACO,
INGUIRI E ISLA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA QUÍMICA**

Aprobado por:

**Dra. Tarcila Cabrera Salazar de Morales
JURADO PRESIDENTE**

**Dr. José Luis Venegas Kemper
JURADO SECRETARIO**

**Ing. Msc. Iván Pedro Coronado Zuloeta
JURADO VOCAL**

**Dra. Noemí León Roque.
ASESORA**

**LAMBAYEQUE – PERÚ
2019**

DEDICATORIA

A Dios, por estar presente en cada momento bendecirme, guiándome y dándome fuerzas para seguir adelante durante mi formación como profesional.

Con mucho amor, cariño, respeto y admiración a mis padres, porque desde pequeña me motivaron en mí el deseo de superación e inculcaron siempre valores y principios.

A mi padre José Lucero Suarez, va dedicado este máximo logro de mi vida que aunque no está presente físicamente conmigo, me hace recordar a diario el valor de la familia y el amor a mi madre Graciela Esther Chávarry Vidarte, por ser el motor que me hace ser mejor día a día.

A mis hermanos Julio y Maricarmen, con los cuales siempre estamos unidos ante los momentos buenos y malos y por su gran apoyo incondicional.

A mis Sobrinos Graciela, Gabriela, José y Paulo, por regalarme inmensos días de alegrías y de mucha felicidad.

A mi Valentina, aunque no estés con nosotros eres un ángel y fueron pocos los días que estuviste, te recuerdo con mucho amor y con ternura.

AGRADECIMIENTO

Gracias a los técnicos del laboratorio especialmente a los señores del laboratorio de fisicoquímica y de química analítica , porque me ayudaron en poder realizar la tesis, gracias por su paciencia, aliento, motivación, colaboración, amistad, enseñanzas, anécdotas, por todo lo que me han brindado, todo ello está guardado en mi corazón y aunque he ido por otro camino, tengan por seguro que siempre los recuerdo con mucho cariño, respeto, estima, aprecio, consideración y admiración, porque me enseñaron que no se necesita tener una profesión, grado, título, maestría o doctorado para ser un gran ser humano y recuerden que mi éxito con la tesis es el éxito de ustedes, porque ustedes son parte de ella.

Debo destacar, por encima de todo, su disponibilidad y paciencia que hizo un aporte benéfico tanto a nivel de laboratorio como personal. No cabe duda que sus participaciones han enriquecido el trabajo realizado y además, ha significado el surgimiento de una sólida amistad

Gracias a la Ing. Noemí León Roque por aceptar ser la asesora de la tesis, gracias por sus conocimientos, orientaciones y enseñanzas en poder desarrollar la tesis de investigación, sin su colaboración este trabajo hubiera sido mucho más largo y complicado.

Índice

| | |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| RESUMEN | i |
| ABSTRACT | ii |
| INTRODUCCION | iii |
| I. FUNDAMENTO TEORICO | 1 |
| 1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION | 1 |
| 1.2. BASE TEÓRICA | 3 |
| 1.2.1. Realidad Problemática..... | 3 |
| 1.2.2. Planteamiento del Problema..... | 4 |
| 1.2.3. Formulación del problema..... | 4 |
| 1.2.4. Justificación e importancia del estudio..... | 4 |
| 1.2.5. Objetivos..... | 5 |
| 1.2.6. Hipótesis..... | 6 |
| 1.2.7. Plátano..... | 6 |
| 1.2.7.1. Origen del plátano..... | 6 |
| 1.2.8. Factores que influyen en el cultivo del plátano..... | 7 |
| i. Temperatura..... | 7 |
| ii. Agua..... | 7 |
| iii. Luz..... | 7 |
| iv. Viento..... | i |
| Error! Marcador no definido. | |
| 1.2.9. Producción del plátano en el Perú..... | 7 |
| 1.2.10. Producción del plátano en el Perú según sus variedades..... | 8 |
| 1.2.11. Plagas y enfermedades del plátano..... | 9 |
| 1.2.11.1. Moko mariachi: | 9 |
| 1.2.12. Los subproductos del plátano..... | 10 |
| 1.2.12.1. Las cáscaras de plátano:..... | 10 |
| 1.2.12.2. Características de las cáscaras de plátano..... | 10 |
| 1.2.13. Composición química de las cáscaras de plátano..... | 10 |
| 1.2.14. Alcohol etílico..... | 11 |
| 1.2.14.1. Composición del alcohol..... | 11 |
| 1.2.15. Material lignocelulósico..... | 13 |
| 1.2.15.1. Componentes Estructurales..... | 14 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.2.15.2 Componentes Secundarios..... | 17 |
| 1.2.12.1. Componentes secundarios solubles en agua y disolventes orgánicos..... | 17 |
| 1.2.12.2. Componentes secundarios insolubles en agua..... | 18 |
| 1.2.13. Pretratamiento..... | 18 |
| 1.2.14. <i>Aspergillus niger</i> | 19 |
| 1.2.14.1. Tratamiento Biológico: | 19 |
| 1.2.15. Hidrólisis enzimática..... | 19 |
| 1.2.17. Factores que influyen en la hidrólisis enzimática..... | 23 |
| 1.2.18. Fermentación..... | 24 |
| 1.2.19. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | 25 |
| 2.1. Localización y duración..... | 26 |
| 2.2. Población y muestra de estudio..... | 26 |
| 2.3. Puntos de muestreo..... | 26 |
| -Mercado Moshoqueque..... | 26 |
| -Mercado Modelo..... | 26 |
| -Mercado Central..... | 26 |
| 2.5. Materiales y Equipos..... | 27 |
| 2.6. Aislamiento del <i>aspergillus Níger</i> (Microorganismo de estudio)..... | 27 |
| 2.6.1. Etapa de pre tratamiento de las cáscaras de plátano..... | 28 |
| 2.6.4. Tratamiento previo al hidrólisis enzimática..... | 29 |
| 2.6.5. Etapa de hidrólisis enzimática..... | 29 |
| 2.6.6. Etapa de fermentación..... | 29 |
| 2.7. Determinación de la concentración de azúcares reductores..... | 31 |
| 2.7.1. Determinación del título de fehling..... | 31 |
| 2.7.2. Valoración de la muestra..... | 31 |
| 2.7.3. Cálculo de la concentración de azúcares reductores..... | 31 |
| 2.8. Determinación de celulosa por el método de kurschner y Hoffer..... | 32 |
| 2.9.1. Variable independiente..... | 32 |
| 2.9.2. Variable dependiente..... | 32 |
| 3.1. Evaluación de la hidrólisis enzimática. | 34 |
| 3.1.1. Hidrólisis enzimática de las cáscaras de plátano bellaco..... | 35 |
| 3.1.2. Hidrólisis enzimática de las cáscaras de plátano inguiri..... | 36 |
| 3.1.3. Hidrólisis enzimática de las cáscaras de plátano de isla..... | 37 |
| 3.2. Determinación de los azúcares reductores..... | 39 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3. Evaluación de la fermentación..... | 43 |
| 3.3.1. Fermentación del hidrolizado de cáscaras de plátano bellaco..... | 44 |
| 3.3.2. Fermentación del hidrolizado de cáscaras de plátano inguiri..... | 45 |
| 3.3.3. Fermentación del hidrolizado de cáscaras de plátano isla..... | 47 |
| VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 52 |
| VII. APENDICE..... | 57 |
| Cáscaras de plátano bellaco..... | 58 |
| Cáscaras de plátano inguiri..... | 59 |
| Cáscaras de plátano de isla..... | 59 |
| Cáscaras de plátano bellaco..... | 60 |
| Cáscaras de plátano inguiri..... | 60 |
| Cáscaras de plátano de isla..... | 61 |
| APENDICE C..... | 61 |
| Cáscaras de plátano bellaco..... | 61 |
| Cáscaras de plátano inguiri..... | 62 |
| Cáscaras de plátano de isla..... | 64 |
| APENDICE D..... | 65 |
| Cáscaras de plátano bellaco..... | 65 |
| Cáscaras de plátano inguiri..... | 65 |
| APENDICE E..... | 66 |
| Cáscaras de plátano bellaco..... | 66 |
| Cáscaras de plátano inguir..... | 67 |
| Cáscaras de plátano de isla..... | 69 |
| APENDICE F..... | 70 |
| Cáscaras de plátano bellaco..... | 70 |
| Cáscaras de plátano inguiri..... | 72 |
| Cáscaras de plátano de isla..... | 74 |
| Cáscaras de plátano bellaco..... | 76 |
| Cáscaras de plátano inguiri..... | 78 |
| Cáscaras de plátano de isla..... | 79 |
| APENDICE H..... | 80 |
| ANEXOS..... | 81 |
| ANEXO N°01..... | 81 |
| 1.1-Solución de Ácido Sulfúrico al 5% (p/p)..... | 81 |

| | |
|---------------------------------------------------------|----|
| 1.2.-Solución de Glucosa al 0.5% (p/v) | 81 |
| 1.3.-Solución de Fehling A..... | 81 |
| 1.4.- Solución de Fehling B..... | 81 |
| 1.5.-Solución indicadora de Azul de Metileno al 1%..... | 81 |
| ANEXO 02..... | 82 |
| Fotos de la Parte Experimental..... | 82 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1: Ejemplo de plátano y banano respectivamente..... | 6 |
| FIGURA 2: Producción Nacional del Plátano | 8 |
| FIGURA 3: Producción Según Variedades del Plátano y Banano | 9 |
| FIGURA 4: Composición de la biomasa con sus principales monómeros constituyentes ... | 13 |
| FIGURA 5: Conformación de las cadenas de β -1,4 D-Glucano de las micro fibrillas de celulosa mostrando los puentes de hidrógeno intra e intermoleculares..... | 14 |
| FIGURA 6: Estructura de una Micro fibrilla..... | 15 |
| FIGURA 7: Fibrilla Elemental o Micela..... | 15 |
| FIGURA 8: Representaciones de Hawort de las principales hexosas..... | 16 |
| FIGURA 9: Representaciones de Hawort de las principales pentosas | 16 |
| FIGURA 10: Ácidos uronicos frecuentes en la pared celular de vegetales | 16 |
| FIGURA 11: Pretratamiento del material lignocelulósico..... | 18 |
| FIGURA 12: Representacion Esquemática del proceso de hidrólisis..... | 20 |
| FIGURA 13: Mecanismo de hidrólisis enzimática de la celulosa | 22 |
| FIGURA 14: Efectos de la temperatura en la actividad catalítica de la enzimas | 23 |
| FIGURA 15: Efecto del PH en la actividad catalítica de las enzimas | 24 |
| FIGURA 16: Diagrama de flujo..... | 30 |
| FIGURA 17 Evaluación de la T ^o y pH de la hidrólisis c.bellaco..... | 35 |
| FIGURA 18: Evaluación de la T ^o y pH de la hidrólisis c.inguiri | 36 |
| FIGURA 19: Evaluación de la T ^o y pH de la hidrólisis c.Isla. | 38 |
| FIGURA 20: Azúcares antes de la Hidrólisis Enzimática | 41 |
| FIGURA 21: Azúcares después de la Hidrólisis Enzimática..... | 41 |
| FIGURA 22 :Evaluación de la T ^o y pH de la fermentación c.bellaco..... | 44 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 23: Evaluación de la T° y pH de la fermentación c.inguiri | 46 |
| FIGURA 24: Evaluación de la T° y pH de la fermentación c.Isla. | 47 |
| FIGURA 25: Rendimiento promedio de Etanol. | 48 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Composición química de las cáscaras de plátano | 11 |
| Tabla 2: Propiedades fisicoquímicas y termodinámicas del alcohol | 12 |
| Tabla 3: Resultados de la hidrólisis enzimática durante las 75 horas | 34 |
| Tabla 4: Evaluación de la T° y pH hidrólisis enzimática de las c.bellaco | 35 |
| Tabla 5: Evaluación de la T° y pH hidrólisis enzimática de las c. inguiri | 36 |
| Tabla 6: Evaluación de la T° y pH hidrólisis enzimática de las c. de isla..... | 37 |
| Tabla 7: Resultado de los Volúmenes gastados antes y después de la hidrólisis | 39 |
| Tabla 8: Azúcares reductores presentes antes y después de la hidrólisis | 40 |
| Tabla 9: Porcentaje de celulosa, humedad y cenizas | 42 |
| Tabla 10: Resultados de la fermentación durante las 75 horas | 43 |
| Tabla 11: Evaluación de la T° y pH fermentación de las c. bellaco | 44 |
| Tabla 12: Evaluación de la T° y pH fermentación de las c. inguiri | 45 |
| Tabla 13: Evaluación de la T° y pH fermentación de las c. de isla | 47 |
| Tabla 14: Rendimiento promedio de Etanol | 48 |
| Tabla A: Volúmenes gastados de aspergillus níger antes y después de la hidrólisis enzimática | 57 |

RESUMEN

La presente investigación se realizó con la finalidad de evaluar la influencia de la hidrólisis enzimática y la fermentación del material lignocelulósico a partir de las cáscaras de plátano de las variedades bellaco, inguiri e isla.

La muestra utilizada fue de un 1Kg de cáscaras de plátano por variedad bellaco, inguiri e isla; se realizó el secado de cada muestra colocando a la estufa a 110°C por un tiempo de 48 horas, se molieron obteniendo 360 gramos por kg aproximadamente y luego se tamizaron; se realizó 5 repeticiones de cada muestra; en cada repetición se pesó 10 gramos y se agregó 100 cm³ de solución de *Aspergillus niger* al 5%, adicionalmente se agregó 1ml de H₂SO₄ al 5%, éste tratamiento previo a la hidrólisis enzimática se realizó a 125°C y a 300 RPM por un espacio de 5 horas. Para la etapa de hidrólisis enzimática las muestras se dejaron enfriar y se incubaron a 35°C por un tiempo de 75 horas, en el cual cada 5 horas se evaluaban los parámetros óptimos de la hidrólisis; posteriormente el material hidrolizado, se fermentó con 0.3 g/L de levadura *saccharomyces Cerevisiae*.

En la hidrólisis enzimática y el proceso de fermentación las tres variedades de cáscaras de plátano bellaco, inguiri e isla tuvieron un comportamiento similar en lo que respecta a la evaluación de los parámetros de pH y temperatura. Se determinó la cantidad de azúcares reductores de cada variedad de cáscara de plátano antes y después de la hidrólisis enzimática; en las cáscaras de plátano bellaco se obtuvo 1.733g/L y 2.199g/L respectivamente, en las cáscaras de plátano inguiri 1.532g/L y 1.739g/L y en las cáscaras de plátano de isla 1.650g/L y 1.801g/L. Los rendimientos de etanol de las variedades de cáscara de plátano bellaco, inguiri e isla son 81.84 L/TM, 65.72L/TM y 72.96L/TM respectivamente.

Palabras Clave: material lignocelulósico, hidrólisis enzimática, fermentación.

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the purpose of evaluating the influence of the enzymatic hydrolysis and the fermentation of the lignocellulosic material from the banana peels of the bellaco, inguiri and island varieties.

The sample used was 1Kg of banana peels for variety bellaco, inguiri and isla; the drying of each sample was done by placing the stove at 110 ° C for a period of 48 hours, they were milled obtaining 360 grams per kg approximately and then sieved; Five repetitions of each sample were performed; in each repetition 10 grams were weighed and 100 cm³ of 5% *Aspergillus niger* solution was added, additionally 1 ml of H₂SO₄ was added, this treatment before the enzymatic hydrolysis was carried out at 125°C and 300 RPM for a space of 5 hours. For the enzymatic hydrolysis stage, the samples were allowed to cool and incubated at 35 ° C for a period of 75 hours, in which the optimum parameters of the hydrolysis were evaluated every 5 hours; Subsequently, the hydrolysed material was fermented with 0.3 g / L of yeast *Saccharomyces Cerevisiae*. In the enzymatic hydrolysis and the fermentation process, the three varieties of banana rinds, bellaco, inguiri and isla, had a similar behavior with regard to the evaluation of pH and temperature parameters. The amount of reducing sugars of each variety of banana peel was determined before and after the enzymatic hydrolysis; in the husks of plantain bellaco was obtained 1,733g / L and 2,199g / L respectively, in banana peels inguiri 1,532g / L and 1,739g / L and in banana peel island 1,650g / L and 1,801g / L. The ethanol yields of the bellaco, inguiri and isla banana peel varieties are 81.84 L / MT, 65.72 L / MT and 72.96 L / MT respectively.

Keywords: lignocellulosic material, enzymatic hydrolysis, fermentation.

INTRODUCCION

Las cáscaras de plátano es un residuo orgánico, este material representa el 30% en el total del mismo. (Blasco & Gómez, 2014). Actualmente en todo nuestro país todo este material de residuos orgánicos no es aprovechado, aún más específico las cáscaras de plátano la cual contiene material lignocelulósico. En la ciudad de Aguaytia (Ucayali), utilizan la variedad de plátano bellaco e isla para elaboración de harinas y de alimento balanceado para animales, En la región Piura lo usan para la elaboración de chifles. Éstos son claros ejemplos de la gran cantidad de cáscaras de plátanos que se desperdician por no tener un tratamiento y a la vez generan contaminación. (Cárdenas, 2009)

De acuerdo a esta problemática, se debería de tener en cuenta en darle uso a estos sub-productos y ser aprovechado en la producción de etanol, el cual tiene algunas ventajas, es más abundante y por tanto puede producir una mayor cantidad de etanol para suplir la demanda de gasolina o para las innumerables aplicaciones en las diferentes industrias; son materiales de desperdicio; es más fácil de manipular, lo que contribuye a reducir sus costos de manipulación y mantener su calidad en comparación con los cultivos alimentarios; se requiere menor energía fósil para coleccionar y convertir este material a etanol; no constituyen una fuente de alimento; además la hidrólisis de las cáscaras de plátano se torna una meta estratégica para aumentar la oferta de etanol.

Por ello, es pertinente el siguiente cuestionamiento: ¿Cuál es la influencia en la hidrólisis enzimática y la fermentación en el material lignocelulósico presente en las cáscaras de plátano bellaco, inguiri e isla?

La finalidad del presente trabajo fue determinar la influencia de la hidrólisis enzimática y de la fermentación en el material lignocelulósico de las cáscaras de plátano de las variedades de bellaco, inguiri e isla, acondicionar la materia prima para la hidrólisis enzimática, fermentar la glucosa obtenida, determinar la cantidad de azúcares reductores, celulosa y el rendimiento de etanol.

Para una mejor comprensión el estudio se estructura en los siguientes capítulos

En el Capítulo I; denominado Fundamento Teórico, se hace referencia a los antecedentes de la investigación, realidad problemática, planteamiento del problema, formulación del problema, justificación e importancia de estudio, objetivos generales y específicos, hipótesis, conceptos que explican de manera detallada la teoría científica que sirven para argumentar la investigación.

En el Capítulo II: Titulado Metodología de la Investigación se explica de manera explícita los métodos que han sido empelados en la investigación, hace referencia a la localización de la muestra, población, puntos de muestreo, diseño experimental, materiales, aislamiento del *Aspergillus Níger*, pretratamiento de las cáscaras de plátano, pre tratamiento de la hidrólisis enzimática, etapa de hidrólisis enzimática, etapa de fermentación, concentración de los azúcares reductores, determinación de celulosa, variables de estudio, contrastación de hipótesis

En el Capítulo III: Titulado Resultados de la Investigación se hace como referencia a las tablas de la evaluación de la hidrolisis enzimática de las cáscaras de plátano bellaco, Inguiri e isla durante 75 horas de incubación por cada variedad, tabla de la cantidad de azúcares reductores obtenidos antes y después de la hidrólisis enzimática, y tablas de la fermentación de las de las cáscaras de plátano bellaco, Inguiri e isla durante 75 horas.

En el Capítulo IV: asignado a las Conclusiones de la investigación.

En el Capítulo V: asignado a las Recomendaciones de la investigación.

En el Capítulo VI: asignado a las Referencias Bibliográficas, se hace referencia los libros, artículos científicos, revistas, y fuente de la web.

En el Capítulo VII: asignado a los Anexos, se hace referencia a los cálculos, fotos en el laboratorio.

I. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Philomena et al., (2016) en su investigación sobre la “Optimización de la hidrólisis enzimática y la fermentación de las cáscaras de plátano”, el análisis aproximado de las cáscaras de plátano resultó que contiene 46% de celulosa, el *Aspergillus niger* fue aislado y cribado para actividades de celulasas y fue utilizado como la enzima bruta para la hidrólisis y comercialmente *Saccharomyces Cerevisiae*, fue utilizado para la fermentación. Los resultados del análisis mostraron que la temperatura, el tiempo, pH y la concentración del sustrato afectaron significativamente el rendimiento de azúcar simple en la hidrólisis de las cáscaras de plátano. El resultado mostró igualmente que la temperatura, el tiempo y el pH fueron factores importantes de la fermentación. Las condiciones óptimas para la hidrólisis fueron 35°C, 5 días, y pH de 5,5, concentración de sustrato fue de 8g/30 ml y rendimiento de glucosa del 49%. También se obtuvieron las condiciones óptimas de fermentación a 30°C, pH de 4, en 9 días y el rendimiento del etanol fue 19%.

Escalante J. & Fuente H. (2013) en su estudio experimental “Obtención de Bioetanol, a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura”. Los materiales lignocelulósicos son considerados aptos para la producción de etanol en segunda generación. En la región Piura se genera 5 400 000 toneladas de residuos agrícolas de banano orgánico (hojas pseudotallos, raquis), la secuencia de procesos para la obtención de alcohol etílico a nivel del laboratorio fue la siguiente: Pretratamiento, deslignificación, hidrólisis enzimática, Fermentación y Destilación, se consiguió un destilado del 92% de pureza en peso y un rendimiento etílico de 0.078 g de etanol /g de biomasa.

Chongkhong et al., (2015) en su investigación sobre la “Producción de etanol a partir de cáscaras de banano” se optimizó mediante la metodología de superficie la respuesta en un proceso de dos pasos. Los pasos fueron la hidrólisis de vinagre de cáscaras de plátano utilizando calentamiento por microondas y la fermentación del hidrolizado de cáscara mediante levadura comercial de panadería. El contenido de azúcar (glucosa) en el hidrolizado se maximizó en rangos de concentración de vinagre, el poder de microondas e hidrólisis. El máximo contenido de glucosa de 15.3 g/L se alcanzó con el 1.47% (p/p). El máximo valor de obtuvo etanol al 9.2% v/v con levadura al 4% p/p con un pH inicial de 4,8, a 28 °C durante 72 horas.

Romero et al., (2015) en su investigación “La hidrólisis enzimática de residuos agroindustriales del banano para la obtención de jarabe glucosado aplicando tres pretratamientos” la investigación fue comparar tres pre tratamientos (molienda; molienda + hidróxido de sodio al 1%, y molienda + proceso hidrotérmico) aplicados a cáscara de banano maduro (sustrato) y su efecto en la obtención de jarabe glucosado mediante hidrólisis enzimática con el hongo *Trichoderma reesei*. Se prepararon 27 medios de cultivos en diferentes concentraciones de cáscara de banano maduro 40%, 50% y 60.

Godina A. & Salvador E. (2016) sostuvo en su investigación “Obtención de bioetanol a partir de las cáscaras de plátano”, la hidrólisis se llevó a cabo en un reactor a presión 15 psi y temperatura 125° C para obtener un jarabe de glucosa. La fermentación será en un reactor se añade el jarabe de glucosa y se adiciona la levadura *saccharomyces cerevisiae*. Una vez fermentado se tamiza para eliminar sólidos para posteriormente ser destilado en una torre de destilación.

Harinder et al., (2011) en su estudio sostuvo que la biomasa seca y molida de cáscara de plátano, después de un tratamiento previo de esterilización hidrotermal se utilizó para la producción de etanol utilización de sacarificación y la fermentación simultaneas. El diseño compuesto central se utilizó para optimizar las concentraciones de celulosa y pectinasa, la temperatura y el tiempo para la producción de etanol.

1.2. BASE TEÓRICA

1.2.1. Realidad problemática

La producción de plátano en el departamento de Piura en el Perú, tiene una gran demanda el plátano tiene una gran utilidad en la elaboración de harinas y esto se refleja que es un problemática de que se desperdician las cascaras de plátano en la cual se puede aprovechar el material lignocelulósico presente de las cascaras de plátano.

El plátano bellaco, cuyas características señalan un mayor número de dedos por racimo pero, En las zonas donde hay mayor producción de plátano en la zona de Tocache, seguido de Leoncio Prado y Lamas.

La variedad del plátano Inguiri, tiene una mayor producción en la provincia de Coronel Portillo y Lamas. El plátano Isla tiene mayor producción en la provincia de Satipo.

En los lugares donde se consume el plátano para la elaboración de chifles, harina, la cascaras es eliminada como residuo y no tiene aprovechamiento, al contrario al ser eliminada existe el riesgo de generar en la mayoría de casas contaminación ambiental debido a su descomposición orgánica.

No todos los productos o sustancias se degradan a la misma velocidad, sino que dependen de varios factores: por ejemplo, la estabilidad de las moléculas que lo forman que favorece o no la acción de microorganismos o la variabilidad de las condiciones ambientales como lluvia, humedad, temperatura. El tiempo de descomposición de las cascaras de plátano es de 2 a 10 días.

Si bien el reciclaje todos lo entendemos como una actividad humana, diseñada y desarrollada ampliamente las últimas décadas, la naturaleza también dispone de mecanismos para reciclar los residuos.

Estos residuos de cascaras de plátano se puede aprovechar porque son ricos en material lignocelulósico.

1.2.2. Planteamiento del problema

De acuerdo a la problemática descrita anteriormente sobre la gran cantidad de cáscaras de plátano que se desperdician en el Perú una manera de reciclar las cáscaras de plátano, es aprovechar su riqueza de material lignocelulósico para producir productos de mayor utilidad como por ejemplo: el etanol y así evitar la contaminación en el medio ambiente.

Ante esta problemática se plantea realizar un estudio a las cáscaras de plátano para así aprovechar su material lignocelulósico para convertirlos en productos de mayor utilidad.

1.2.3. Formulación del problema

¿Cómo influye la hidrólisis enzimática y la fermentación del material lignocelulósico presente en las cáscaras de plátano Bellaco, Ingiri e Isla?

1.2.4. Justificación e importancia del estudio

El desarrollo de esta tesis es de suma importancia por lo que se va analizó la hidrólisis enzimática y fermentación en las cáscaras de plátano para la mayor producción de etanol u otros componentes.

Además es muy importante porque se podría aprovechar la cantidad de material lignocelulósicos presente en las cáscaras de plátano, es una biomasa residual del plátano por sus tres características muy importantes: No se exporta, está concentrada en las empacadoras de fruta, representa un volumen muy importante estas condiciones hacen que este sustrato sea atractivo para emprender un estudio que permita evaluar su uso como materia prima.

Los beneficiados con esta investigación son principalmente las empresas plataneras ya que aumentaría la mayor producción de plátano. También resultan beneficiados los trabajadores, ya que al mejorar la productividad, tendrán más utilidades.

1.2.5. Objetivos

Objetivo General

- Determinar la influencia de la hidrolisis enzimática y de la fermentación en el material lignocelulósico de las variedades en las cáscaras de plátano Bellaco, Inguiri e Isla.

Objetivo Específicos

- Analizar los azúcares reductores obtenidos de la hidrólisis.
- Analizar el contenido de celulosa presente en las cáscaras de plátano de las variedades estudiadas.
- Realizar una hidrolisis enzimática en el material lignocelulósico presente en las cáscaras de las variedades de plátano Bellaco, Inguiri e Isla.
- Realizar una fermentación del sustrato hidrolizado de las cáscaras de las variedades de plátano Bellaco, Inguiri e Isla.

1.2.6. Hipótesis

¿Cómo será la influencia de la Hidrolisis Enzimática y de la Fermentación en el material lignocelulosicos de las cascaras de plátano Bellaco, Inguiri e Isla?

1.2.7. Plátano

Frutas y hortalizas plátano, *musa sp /musácea*, afirma lo siguiente:

El plátano o banano es una fruta amarilla, de forma alargada, que encontramos en el mercado en grupos de tres a veinte, de forma similar a un pepino triangular, oblongo y normalmente de color amarillo. Su sabor es más o menos dulce según la variedad.

Natursan (2016) .La gran diferencia entre banano y el plátano es su contenido de humedad el plátano contiene un promedio de 65% y el banano 74%.

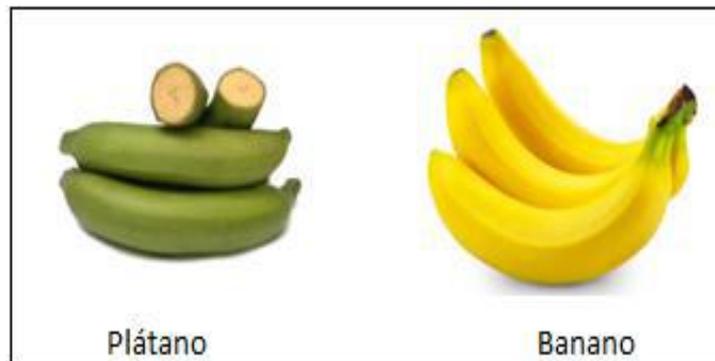


Figura 1. Ejemplo de plátano y banano respectivamente
Recuperado Natursan (2016)

1.2.7.1. Origen del plátano

Al analizar los resultados de su estudio de (Portilla, 2010, p.1)

El plátano, en otros países se conoce como banano o banana, fue nativo de las regiones tropicales del sudeste de Asia y probablemente fue domesticado en Papua Nueva Guinea.

1.2.7.2. Clasificación Botánica

Al analizar los estudios (Herrera & Colonia 2011) previos se encontró lo siguiente:

Familia: Musáceas.

Especie: *Musa cavendishii* (plátanos comestibles cuando están crudos) y *Musa paradisiaca* (plátanos para cocer).

Origen: tiene su origen en Asia meridional, siendo conocida en el Mediterráneo desde el año 650.

1.2.8. Factores que influyen en el cultivo del plátano

(Rodríguez & Guerrero,2010) en la guía técnica del plátano afirma lo siguiente:

i. Temperatura

La temperatura óptima para el cultivo de plátano se encuentra entre 20° C y 30° C. En aquellas zonas donde se presentan temperaturas inferiores a 20°C se produce un retardo en el desarrollo fisiológico de la planta, retrasan la cosecha y la emergencia del brote.

ii. Agua

Por lo herbáceo de la planta, su amplia superficie foliar y su rápido crecimiento, se requieren grandes cantidades de agua para su adecuado desarrollo. Un nivel de precipitación de 150 a 180 mm por mes es suficiente para suplir los requerimientos de la planta. En nuestro país, en la época seca debe proveerse esta cantidad de agua, por medio de riego.

iii. Luz

Para que las plantas y racimos se desarrollen bien, necesita alta luminosidad. Algunos investigadores han observado que al disminuirse la intensidad de luz, el ciclo vegetativo de la planta se alarga. Es común observar que las plantas de plátano que crecen bajo sombra presentan un menor desarrollo que aquellas que crecen en plena exposición solar.

Por la naturaleza, de la planta, (sus hojas laminares y su sistema radical superficial), el viento es un factor que se debe considerar al momento de establecer una plantación. No se recomienda establecer plantaciones en áreas expuestas a vientos con velocidades mayores a 20 km/h., ya que los vientos fuertes causan grandes daños en las hojas y tumban las plantas.

v. Factor edáfico

Se requieren suelos sueltos que tengan una profundidad mayor de 1.2 m, ricos en materia orgánica para que retengan humedad, sin problemas internos de drenaje y una textura franco arenosa, franco limosa, o franco-arcillo-limosa. No se deben utilizar aquellos terrenos que tengan un subsuelo formado por cascajo o arcilla impermeable. El pH ideal varía de 5.5 a 7.0 (p.1).

1.2.9. Producción del plátano en el Perú

En la figura 2 se muestra la producción del Plátano en el Perú en miles de toneladas métricas:

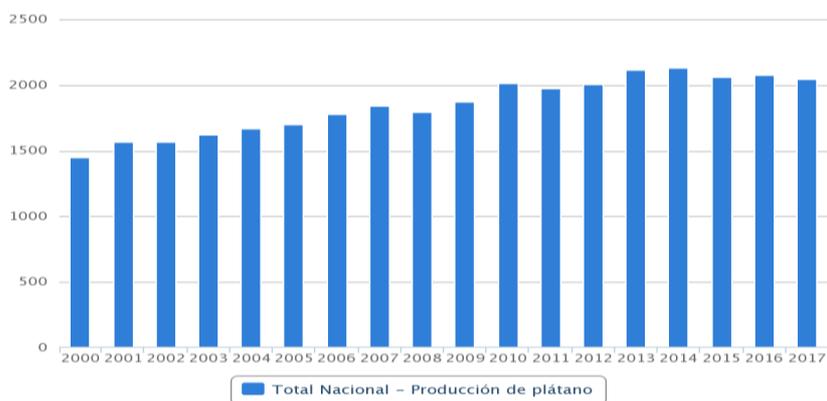


Figura 2. Producción Nacional del Plátano (miles de toneladas métricas)
Recuperado de: Ministerio de Agricultura y riego (2017)

1.2.10. Producción del plátano en el Perú según sus variedades

(Cárdenas, 2009) en su estudio de mercado de la cadena del plátano, afirma lo siguiente: El cultivo de plátano y banano se caracteriza por ser un producto agrícola de gran expansión en la región selva y norte del país, este cultivo exige un clima cálido y una constante humedad en el aire característicos de estas zonas. Necesita una temperatura media de 26°C – 27°C, con lluvias prolongadas y regularmente distribuidas. Estas condiciones se cumplen en la latitud 30° a 31° norte o sur y de los 1.00 a los 2.00 m de altitud. El crecimiento se detiene a temperaturas inferiores a 18°C. Se producen daños a temperaturas menores de 13°C y mayores de 45°C. En condiciones tropicales, la luz, no tiene tanto efecto en el desarrollo de la planta como en condiciones subtropicales, aunque al disminuir la intensidad de luz, el ciclo vegetativo se alarga. El desarrollo de los hijuelos también está influenciado por la luz en cantidad e intensidad.

Es poco exigente en cuanto a suelo, ya que prospera igualmente en terrenos arcillosos, calizos o silíceos con tal que sean fértiles, permeables, profundos, ricos y bien drenados, especialmente en materias nitrogenadas. Prefiere, sin embargo, los suelos ricos en potasio, arcillo-silíceos, calizos. La planta de plátano y banano tiene una gran tolerancia a la acidez del suelo, oscilando el pH entre 4.5 - 8.

Según los resultados del estudio las variedades de mayor producción en toneladas en la región selva son el bellaco (en todos sus grupos) con un 22%, el inguiri en una proporción de 42%, de la isla con un 26 %, el palillo y moquicho o bizcochito 4% y 5% respectivamente, el plátano manzano en un 2% y el seda selva está en menos del 1%. Este comportamiento se demuestra en la siguiente figura 3.

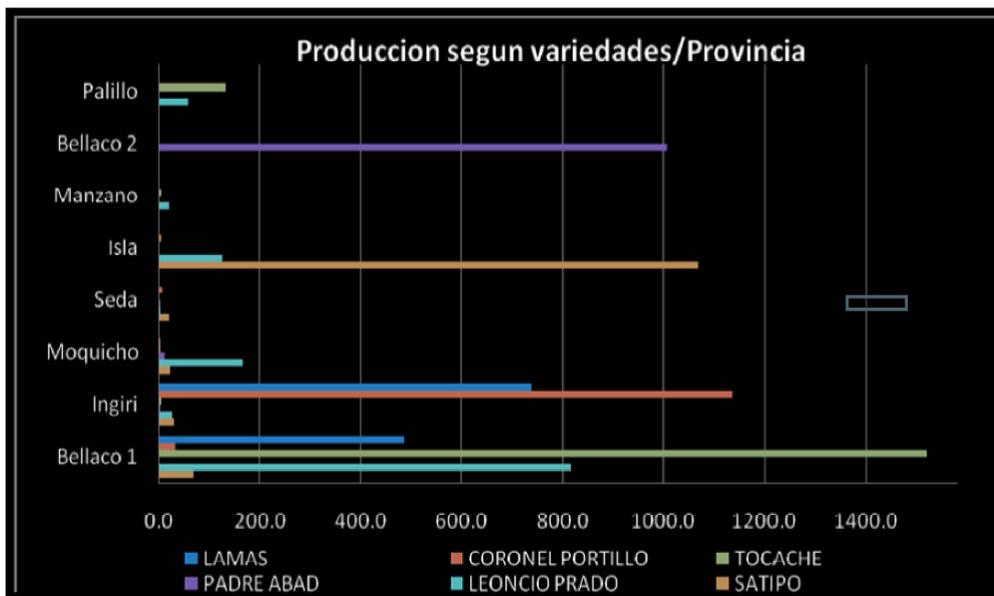


Figura 3. Producción Según Variedades del Plátano y Banano en las provincias de Selva 100 Ha/Tm Recuperado de: "Estudio del Mercado de la cadena de Plátano "Ministerio de Agricultura p.38, por Cárdenas F. 2009 (Informe Final de Consultoría)

La provincia de Sullana produce la variedad seda en su totalidad, esto se refleja por ser una zona exclusivamente dedicada al cultivo de esta variedad y destina la mayor producción para su comercialización de abastecimiento a los principales supermercados del país, mercados de Lima y para la exportación.

Según las zonas de mayor producción de plátano, destacan las siguientes variedades observado en la figura 3: En primer lugar, se encuentra el bellaco 1 cuyas características señalan un mayor número de dedos por racimo, pero, menos peso en relación al bellaco 2, predominando en la zona de Tocache, seguido de Leoncio Prado y Lamas.

Bellaco 2, que se caracteriza por tener menos dedos, pero con mayor peso, encuentra mayormente en la provincia del Padre Abad.

La variedad de ingiri, tiene una mayor producción en la provincia de Coronel Portillo y Lamas.

El plátano de la isla se produce mayormente en la provincia de Satipo (p. 37-38).

1.2.11. Plagas y enfermedades del plátano

1.2.11.1. Moko mariachi:

(Rojas & Colonia 2011, p. 23) estudiaron esta importante enfermedad del plátano y el banano que es causada por la bacteria *Ralstonia solanacearum*). La enfermedad no afecta únicamente a la familia de las musáceas, también a otras 24 familias. En el primer caso puede ocurrir pérdida total de las plantas afectadas, pero los mayores costos de manejo

se relacionan con la aplicación de medidas de erradicación de focos y tiempo cesante durante el cual no se pueden sembrar las áreas afectadas con plátano y banano.

1.2.12. Los subproductos del plátano

El sub subproducto del plátano viene hacer la cáscara del mismo la cual tiene muchos usos en la actualidad:

1.2.12.1. Las cáscaras de plátano:

(Blasco & Gómez 2011). El principal subproducto del proceso industrial del plátano, es la cáscara la cual representa aproximadamente el 30% del peso del fruto; Las aplicaciones potenciales para la cáscara de plátano dependen de su composición química. La cáscara de plátano es rica en fibra dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados y potasio, entre los esfuerzos para utilizar la cáscara se han obtenido proteínas, metanol, etanol, pectinas y enzimas. Entre otros usos se ha obtenido carbón vegetal, una fuente de combustible alternativa para cocinar.

1.2.12.2. Características de las cáscaras de plátano

Al analizar los estudios de (Blasco & Gómez 2011 p.2):

- Representa aproximadamente el 30% del fruto.
- Cuenta con vitamina B.
- La compone compuestos fenólicos que varían entre 0.9 a 3g/ 100g en base seca, así como galocatequina 160 mg/100g en base seca, siendo este último compuesto el que se relaciona con la capacidad antioxidante de la cáscara.
- Fibra dietética (50g/100g).
- Cuenta con aminoácidos esenciales como la leucina, valina, fenilalanina y treonina total, y ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico y ácido a-linolénico (Medegrephic, 2014).
- Cuenta con ácidos grasos poliinsaturados, que forman de 2.2 a 10.9% del contenido lipídico total, y ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico y ácido a-linoleico.

1.2.13. Composición química de las cáscaras de plátano

(Ighodaro, 2012) en su estudio afirma, que los componentes químicos de cualquier fruta fluctúan de acuerdo con su variedad, estado de maduración y condiciones ambientales en la que se desarrolle. Dado que el objeto de estudio en este caso, es imprescindible conocer su composición química, para contar con información confiable que permita estudiar con certeza el comportamiento químico y biológico de los procesos de

producción de etanol a partir de esta fruta. Los resultados del análisis próximo mostrado en la Tabla 1 confirmaron que las cáscaras de plátano se alcanzan en celulosa / hemicelulosa que se pueden convertir en etanol. Los valores están de acuerdo con el trabajo realizado por Ighodaro, Que informó que el contenido de celulosa de las cáscaras de plátano maduras es del 42.95%, mientras que el de las cáscaras verdes de plátano es de 48.18%. (p.6)

Tabla 1

Composición Química de las cáscaras de plátano

| Componente | % Composición |
|------------------------|----------------------|
| Lignina | 25.70% |
| Proteína Cruda | 6.80% |
| Celulosa /Hemicelulosa | 46.50% |
| Ceniza | 5.90% |
| Humedad | 7.80% |
| Grasas y Aceite | 7.30% |

Nota Recuperado de: “Hidrólisis enzimática y fermentación de las cáscaras de plátano optimización y Estudios cinéticos”p.6, por Philomena, K. 2016 (Tesis de licenciatura) Universidad de Nigeria

1.2.14. Alcohol etílico

Al analizar los estudios de (Velazco 2014 p.2) Afirma que: El alcohol etílico o etanol es un líquido claro, incoloro, muy movible, inflamable, de olor característico, muy hidrosoluble, hierve a 78 °C. Se obtiene a través de la fermentación anaerobia de los hidratos de carbono. El alcohol etílico es el constituyente fundamental de las bebidas alcohólicas que se clasifican en fermentadas con un contenido alcohólico entre el 4 y el 20 por ciento v/v como el vino, la sidra y la cerveza y destiladas con un contenido alcohólico más elevado (43% v/v o más) como el ron, coñac, etc.

1.2.14.1. Composición del alcohol

Al analizar los estudios de (Morrison & Boyd, 1999) Afirma que: El alcohol es un compuesto ternario, constituido por: carbono 52%, oxígeno 34,8% e hidrógeno 13%; su fórmula general es C₂H₆O, derivado de los hidrocarburos, por sustitución de un átomo de hidrógeno por un hidroxilo.

El alcohol obtenido por fermentación obedece a la siguiente reacción; según Gay Lussac

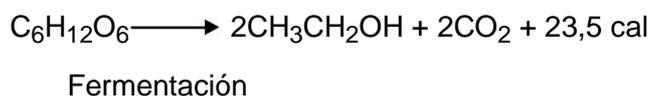


Tabla 2

Propiedades Fisicoquímicas y termodinámicas del Alcohol

| Propiedades Fisicoquímicas y Termodinámicas | |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fórmula | C ₂ H ₆ O, CH ₃ CH ₂ OH |
| Peso Molecular | 46.07 g/mol |
| Composición | C: 52.24%, H: 13.13% y O:34.73% (%mol) |
| Estado de Agregación | Líquido |
| Color | Incoloro |
| Punto de Ebullición | 78.3°C |
| Punto de Fusión | 130°C |
| Índice de refracción (a 20°C) | 1.361 |
| Densidad | 0.7893 a 20°C. |
| Presión de vapor | 59mm de Hg a 20°C |
| Densidad de vapor | 1.59 g/ml |
| Temperatura de ignición | 363°C |
| Punto de inflamación (Flash Point) | 12°C (al 100%), 17°C (al 96%), 20°C (al 80%), 21°C (al 70%), 22°C (al 60%), 24°C (al 50%), 26°C (al 40%), 29°C (al 30%), 36°C (al 20%)y 49°C (al 10%) |
| Límites de explosividad | 3.3-19% |
| Punto de Congelación | -114.1°C |
| Calor específico (J/g°C) | 2.42 (a 20°C) |
| Temperatura de autoignición | 793°C |
| Conductividad térmica (W/mK) | 0.17 (a 20°C) |
| Momento dipolar | 1.699 debyes |
| Constante dieléctrica | 25.7 (a 20°C) |
| Solubilidad | Miscible con agua en todas proporciones, éter, metanol, cloroformo y acetona |
| Temperatura crítica | 243.1°C |
| Presión crítica | 63.116 atm |
| Volumen crítico | 0.167 L/mol |
| Tensión superficial (dina/cm) | 231 (a 25°C) |
| Viscosidad (cp) | 1.17 (a 20°C) |
| Calor de Vaporización en el punto normal de ebullición (J/g) | 839.31 |
| éter, metanol, cloroformo y acetona | |
| Calor de combustión (J/g) | 29677.69 (a 25°C) |
| Calor de fusión (J/g) | 104.6 |
| Acidez (pKa) | 15.9 |

Nota Recuperado de: "Hoja de Seguridad XII del etanol "por (Anónimo)

1.2.15. Material lignocelulósico

Al analizar los estudios de (Montealegre & Polanco 2016 p.17)

La biomasa vegetal o biomasa lignocelulósica, es conocida en la actualidad como el recurso más grande en todo el mundo de azúcares, convirtiéndose así, en el principal recurso para la producción de biocombustibles.

En términos generales esta presenta una estructura compleja de tres componentes fundamentales (Figura 4), celulosa (35-50%), hemicelulosa (20-35%) y lignina (10-25%), siendo la celulosa la principal fuente de azúcares.

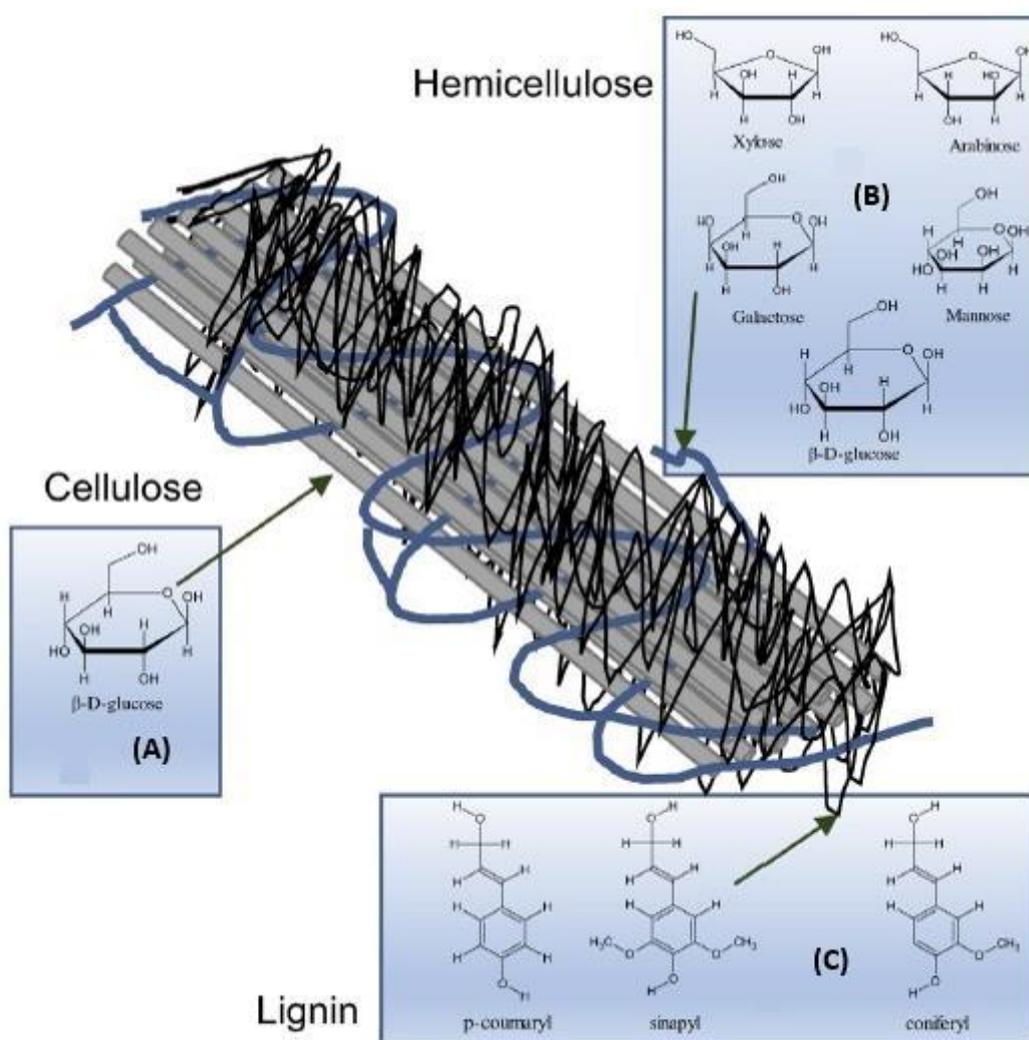


Figura 4. Composición de la biomasa con sus principales monómeros constituyentes p.17 por Montealegre & Polanco (2016).

1.2.15.1. Componentes Estructurales

Los forman tres polímeros, la celulosa, la lignina y la hemicelulosa. Del total de compuestos que forman los materiales lignocelulósicos casi la mitad son celulosa y lignina.

i. Celulosa: Al analizar los resultados de su estudio de (Brown.2003, p.42) afirma: Que la celulosa es la macromolécula más abundante de la Tierra y su producción anual se ha estimado en 10^{11} toneladas.

(Barroso. 2010, p.9). La celulosa se encuentra en las paredes de las células vegetales. En su estudio sostuvieron (Azcón & Talón 2013), que la celulosa está constituida por una larga secuencia lineal de restos de D-glucosa unidos por enlaces β (1 \rightarrow 4) (Figura 5). Cada resto presenta una rotación de 180° respecto a los restos contiguos, estabilizada por puentes de hidrógeno intermoleculares. El grado de polimerización medio en las paredes secundarias es alto, aproximadamente 10^4 , mientras que en las paredes primarias es más bajo, entre 2.6 y 6×10^3 . Debido a su estructura, las cadenas de celulosa (40-70) se unen por puentes de hidrógeno intermoleculares formando agregados microfibrillas, en su mayor parte cristalinos, en los que las cadenas individuales de celulosa se disponen de forma paralela. Las microfibrillas están separadas entre sí unos 30nm, ese espacio está ocupado por los polisacáridos matriciales y por lignina o suberina, lo que confiere gran resistencia mecánica a la pared. Las microfibrillas de celulosa están presentes en las paredes de todas las plantas superiores, y constituyen el 30-40% del peso de las paredes de los tejidos leñosos, mientras que en las paredes primarias se encuentran en menor proporción. (p.11).

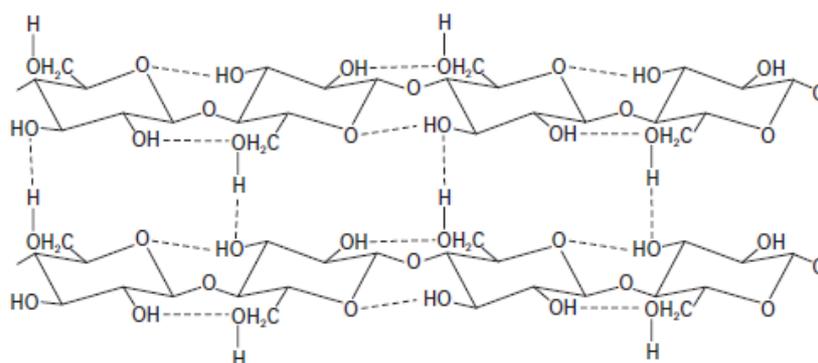


Figura 5. Conformación de las cadenas de $\beta(1\rightarrow4)$ D-glucano de las microfibrillas de celulosa que muestra los puentes de hidrógeno intramoleculares e intermoleculares (líneas de puntos) Fundamentos de la Fisiología Vegetal" p.10 por Arzon & Talón (2013)

Al analizar los resultados de su estudio de (Brown.2003, p.487) En su estudio afirma que Las regiones donde las microfibrillas (figura 6), presentan una estructura altamente ordenada se llaman regiones cristalinas y las regiones con una estructura menos ordenadas se denominan amorfas, (Figura 7), por ello la celulosa se considera un polímero semicristalino. Las dos formas cristalinas que se encuentran en la celulosa nativa es decir, en las fibras naturales, son la celulosa I y la celulosa II, siendo la más abundante la celulosa I donde las cadenas de glucosa están orientadas paralelamente. Por el contrario, en la celulosa nativa II, que es sintetizada principalmente por algas y algunas bacterias, las cadenas de glucosa son antiparalelas.

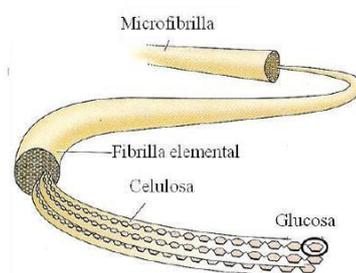


Figura 6. Estructura de una micro fibrilla Recuperado de: "Pre tratamiento de biomasa de celulósica para la obtención de etanol en el marco de biorefineria" p.6 por Barroso C. (Tesis de Grado). Universidad Politécnica de Madrid (2010)

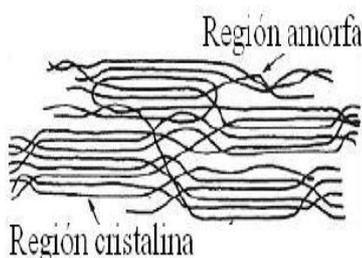


Figura 7. Fibrilla elemental o micela Recuperado de: "Pre tratamiento de biomasa de celulósica para la obtención de etanol en el marco de biorefineria" p.6 por Barroso C. (Tesis de Grado). Universidad Politécnica de Madrid (2010)

ii. Hemicelulosas: (Barroso 2010, p.7) en su estudio afirma:

La hemicelulosa forma cadenas ramificadas de menor grado de polimerización que la celulosa y no tienen, por tanto, zonas cristalinas. Además los puentes de hidrogeno son menos eficaces haciendo de las hemicelulosas polisacáridos más accesibles al ataque de reactivos químicos.

Los monómeros que constituyen las hemicelulosas son principalmente monosacáridos u osas y derivados de las osas como los ácidos urónicos. Los monosacáridos principales

son cinco: tres hexosas: glucosa, manosa y galactosa y dos pentosas: la xilosa y la arabinosa.

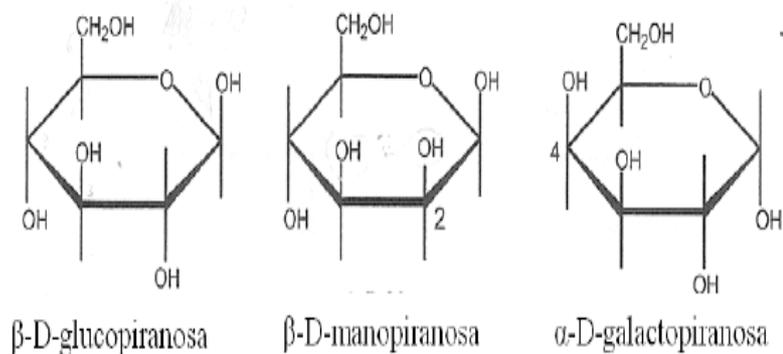


Figura 8. Representaciones de Hawort de las principales hexosas presentes en las hemicelulosas Recuperado de: "Pre tratamiento de biomasa de celulósica por la obtención de Etanol en el marco de Biorefineria" p.7 por Barroso C.(Tesis de Grado).Universidad Politécnica de Madrid (2010).

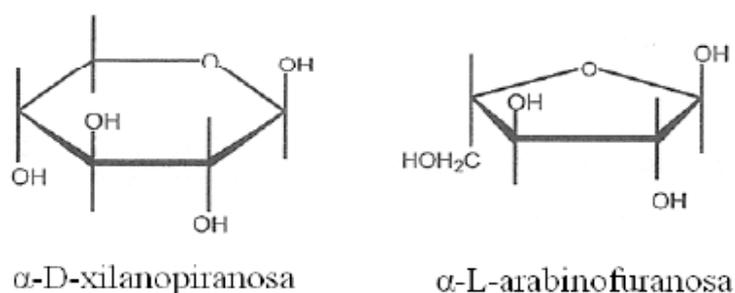


Figura 9. Representaciones de Hawort de las principales pentosas presentes en las hemicelulosa Recuperado de: "Pre tratamiento de biomasa de celulósica para la obtención de etanol en el marco de biorefineria" p.7 por Barroso C. (Tesis de Grado).Universidad Politécnica de Madrid (2010)

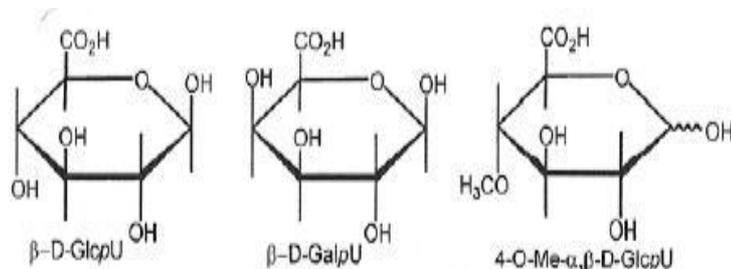


Figura 10. Ácidos urónicos frecuentes en la pared celular de vegetales Recuperado de: "Pre tratamiento de biomasa de celulósica para la obtención de etanol en el marco de biorefineria" p.7 por Barroso C. (Tesis de Grado).Universidad Politécnica de Madrid (2010)

iii. Lignina: (Azcón & Talón 2013) En su estudio sostuvieron afirman: La lignina es un polímero complejo constituido a partir de los alcoholes aromáticos *p*-cumarílico, coniferílico y sinapílico, unidos entre sí por enlaces éster o carbono-carbono. La composición manométrica, así como el tipo de enlaces entre ellos y su organización en la macromolécula, varían en las diferentes especies. La polimerización puede tener lugar mientras haya precursores activados y espacio en la pared, de manera que la molécula tiende a llenar todo el espacio de la pared no ocupado por otras macromoléculas, desplazando al agua. La estructura polimérica de la lignina no solo se entrelaza con las microfibrillas de celulosa, sino que también se une a las hemicelulosas (arabinoxilano) y pectinas (arabinogalactano) mediante enlaces éster a través de sus restos hidroxicinámicos (p.16).

1.2.15.2 Componentes Secundarios

(Barroso, 2010, p.4) en su estudio afirma que son componentes generalmente de menor proporción y son de dos tipos; componentes de bajo peso molecular, hidrosolubles extraíbles en solventes orgánicos que se denominan y por otro materias minerales que en los análisis químicos se estiman como cenizas.

1.2.12.1. Componentes secundarios solubles en agua y disolventes orgánicos

(Barroso, 2010) en su estudio afirma que: Los componentes secundarios son componentes generalmente de menor proporción y son de dos tipos; por un lado componentes de bajo peso molecular, hidrosolubles o extraíbles en solventes orgánicos que se denominan extractos y por otro materias minerales que en los análisis químicos se estiman como cenizas.

-Terpenos: se consideran polímeros del isopreno y están relacionados con los alcoholes terpénicos y algunas cetonas.

-Resinas: Amplia variedad de compuestos no volátiles como grasas, ácidos grasos, alcoholes, resinas ácidas, fitoesteroides y otros compuestos neutros.

-Fenoles: Como los taninos que son polifenoles derivados de ácido gálico y de la catequina.

-Otros: Entre los que se encuentran hidratos de carbono de bajo peso molecular, alcaloides y lignina soluble.

1.2.12.2. Componentes secundarios insolubles en agua

-**Cenizas:** Son principalmente carbonatos y oxalatos.

-**Otros:** Son más raros y de poca proporción, pero también pueden ser insolubles cantidades pequeñas de almidón, pectinas o proteínas. (p.3)

1.2.13. Pretratamiento

(Cortínez, 2010) en su estudio afirmó. El efecto del pretratamiento en materiales lignocelulósicos ha sido reconocido en el tiempo. El propósito del pretratamiento es remover la lignina y la hemicelulosa, reducir la cristalinidad de la celulosa y aumentar la porosidad del material.

En una materia prima no tratada, las fibras de celulosa, con una alta cristalinidad, se encuentra dentro de una no muy bien organizada matriz de hemicelulosa y envuelta en una pared de lignina que le da la rigidez al material lignocelulósico.

La Figura 11 es una representación esquemática ideal del pretratamiento en biomasa. La lignina, hemicelulosa y celulosa están representadas por los colores rosado, verde y negro, respectivamente. En el pretratamiento ideal de biomasa se pueden distinguir tres etapas o hitos representados en esta figura:

- Desplazar / remover el revestimiento de lignina
- Dejar al descubierto/ remover la hemicelulosa
- Reducir/ eliminar la cristalinidad de la fracción de celulosa

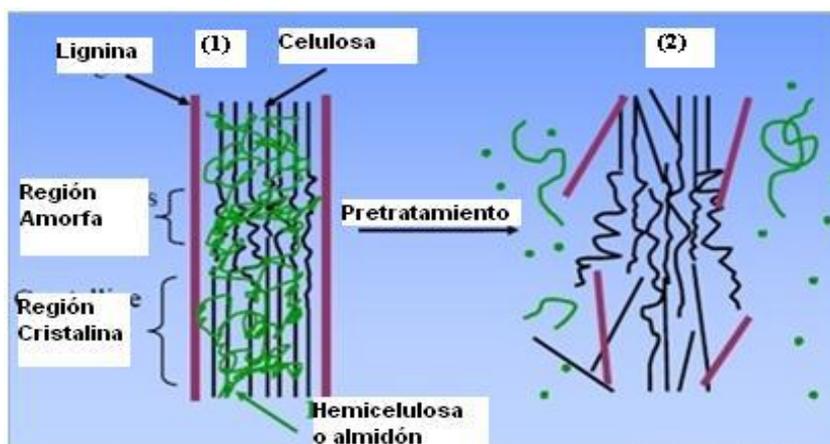


Figura 11. Pretratamiento del material lignocelulósico .Recuperado de:
"Comparación de pretratamientos en residuos forestales para la producción de bioetanol " p.13 por Cortínez 2010. (Tesis de Grado). Universidad de Chile (2010)

1.2.14. Aspergillus níger:

(Reyes et al., 2013, p.2) en su estudio afirma que:

El hongo aspergillus níger produce diversos compuestos de gran interés para las industrias farmacéuticas y de alimentos (enzimas, ácidos orgánicos), es el principal productor de ácido cítrico a nivel industrial por cultivo. Se observado que tiene un alto rendimiento de ácido cítrico, cuando existe una alta acumulación de este en el micelio, que puede estar asociada a la alta concentración de glucosa y de oxígeno disuelto en el medio líquido.

1.2.14.1. Tratamiento Biológico:

(Sun & Cheng 2002, p.1) en su estudio afirma que:

Los tratamientos biológicos son amigables con el ambiente e incrementan la accesibilidad al material celulósico favoreciendo una subsecuente hidrólisis y fermentación, sin embargo, es un proceso lento que limita su aplicación a nivel industrial. Se utiliza hongos para solubilizar la lignina.

1.2.15. Hidrólisis enzimática

Tomas (2010) en su tesis doctoral de bioetanol de paja de trigo: Estrategias de integración de las etapas del proceso.

El material insoluble obtenido tras el pretratamiento, está formado principalmente por celulosa y lignina, ya que gran parte los azúcares hemicelulósicos son solubilizados durante el mismo. Con el fin de romper las cadenas de celulosa en monómeros de glucosa, se emplean diversas enzimas que se conocen con el nombre de celulasas.

La hidrólisis enzimática (HE) constituye una de las etapas limitantes del proceso global de producción de etanol.

La hidrólisis enzimática (HE) constituye una de las etapas limitantes del proceso global de producción de etanol. Las principales dificultades al realizar la HE de la biomasa lignocelulósica están relacionadas con la baja actividad específica de las enzimas actualmente disponibles, lo que conlleva el empleo de altas dosis de celulasas, y con la propia naturaleza de la lignocelulosa. Es por este último inconveniente que el pretratamiento es una etapa crucial en los procesos de producción de etanol mediante HE. Además, el coste de producción enzimática representa una parte significativa del coste total del proceso.

Un amplio rango de microorganismos, entre los que se encuentran bacterias y hongos, son productores de celulasas, pero sólo un pequeño número de éstos son capaces de producirlas en grandes cantidades. Algunas de las bacterias celulolíticas más estudiadas pertenecen al grupo Cellulomonas, Thermobifida, y Clostridium .A pesar de que los sistemas enzimáticos

producidos por dichas bacterias presentan propiedades interesantes, como la producción de enzimas termoestables y la síntesis de complejos enzimáticos extracelulares o celulosomas, son las celulasas producidas por hongos las que se comercializan actualmente. En concreto, la investigación se ha centrado en algunos géneros de hongos como Phanerochaete, Fusarium y Trichoderma y algunas especies de Aspergillus, Penicillium y Shizophyllum, ya que producen celulasas en grandes cantidades y de forma extracelular lo que facilita su recuperación del medio de cultivo.

A pesar de que los sistemas enzimáticos producidos por dichas bacterias presentan propiedades interesantes, como la producción de enzimas termoestables y la síntesis de complejos enzimáticos extracelulares o celulosomas, son las celulasas producidas por hongos las que se comercializan actualmente. En concreto, la investigación se ha centrado en algunos géneros de hongos como especies de Aspergillus ya que producen celulasas en grandes cantidades y de forma extracelular lo que facilita su recuperación del medio de cultivo.

Proceso catalizado por enzimas denominadas celulasas, cuyo propósito es la degradación de la celulosa.

El uso del pre-tratamiento como se explicaba anteriormente, facilita el desarrollo de esta etapa. Cabe destacar que en la mayoría de procesos existe un primordial interés por los azúcares provenientes de la celulosa, sin embargo, la tendencia actual es el aprovechamiento integral de la biomasa, y en especial de otros azúcares como las pentosas, provenientes de la hemicelulosa, conllevando al uso de enzimas que actúen sobre dichas sustancias como es el caso de las xilanasas y las xilasas (p.45-46).

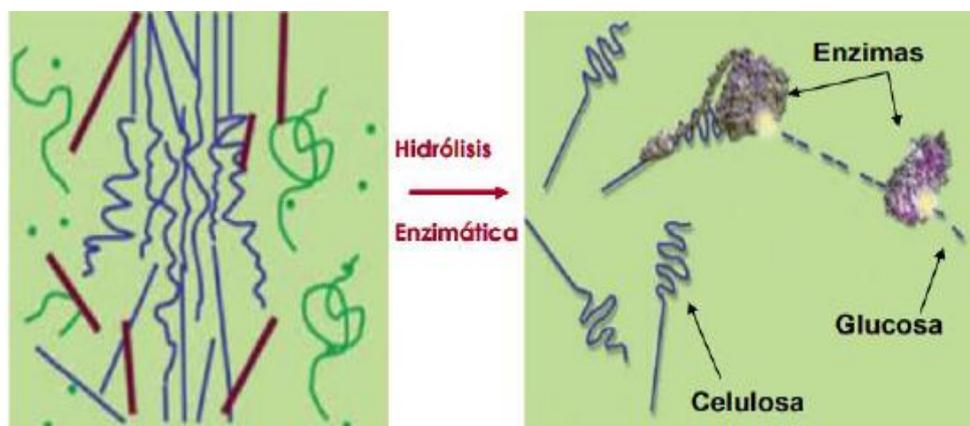


Figura 12. Representación Esquemática del proceso de hidrólisis. Recuperado de: "Obtención de Bioetanol a partir del hidrolizados de residuos de fruta" p.28 por Hernández 2017. (Tesis de Master). Universidad de Oviedo

1.2.15.1 Hidrólisis enzimática de los residuos celulósicos:

Valenzuela (2012) La hidrólisis enzimática de la celulosa consiste en tres pasos: absorción de las enzimas celulasas en la superficie de la celulosa, la degradación de la celulosa a azúcares fermentables o glucosa y la deserción de las celulasas. Una clase de fermentación importante de la glucosa es la fermentación alcohólica. La degradación enzimática de materiales celulósicos, es estimulada por la perspectiva de que esta investigación contribuiría al desarrollo en gran escala a procesos de conversión que beneficiarían a la humanidad en una forma sustancial.

Algunos de estos procesos de conversión potenciales son:

- Ayudar a resolver problemas de eliminación de desechos.
- Disminuir la contaminación del medio ambiente.
- Aliviar la escases de alimentos y nutrientes para animales.
- Mejorar el manejo de bosques y tierras extensas, suministrando un mercado para maderas de baja calidad, que se desarrollan en tierras pobremente cultivadas.
- Disminuir la dependencia del hombre hacia los combustibles fósiles, proveyendo un recurso conveniente y renovable de energía en forma de etanol. (p.48)
- La sacarificación de los materiales celulósicos, utilizando las enzimas celulasas, no presentan el problema de la formación de productos indeseables como los que se presentan en las otras formas de hidrólisis (ácida, básica, etc.). En la actualidad los estudios de hidrólisis se están orientando a la utilización de enzimas para la sacarificación de subproductos celulósicos por las ventajas que ofrece el proceso.

1.2.16 Enzimas:

(Armstrong & Bennett 1992).Las enzimas son los catalizadores biológicos extraordinariamente eficientes responsables de los miles de reacciones necesarias en los procesos químicos de la vida. Todas las enzimas son proteínas pudiéndose clasificar bien como proteínas simples, cuyas actividades catalíticas se basan exclusivamente en la estructura polipeptídica del enzima, o como proteínas conjugadas, las cuales requieren unos componentes no proteicos para su actividad.

Una enzima se clasifica según el tipo de reacción que cataliza, siendo seis las clases principales de enzimas: oxidoreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas, isomerasas y ligasas.

Como catalizadores, las enzimas actúan en pequeña cantidad. No llevan a cabo reacciones que sean energéticamente desfavorables, no modifican el sentido de los equilibrios químicos, sino que aceleran su consecución.

1.2.16.1 Celulasas:

Las enzimas celulasas, son proteínas derivadas de los procesos naturales de fermentación, capaces de degradar la celulosa. En realidad una enzima de celulasas, es una mezcla de diversos componentes enzimáticos, formando lo que se denomina un “complejo enzimático”, que actúa de forma sinérgica en la degradación de la celulosa.

-Endoglucanasas (EGs) o endocelulasas (β -1,4-D-glucan 4-glucanohidrolasa), la cual ataca las regiones de baja cristalinidad en la fibra celulósica (hidroliza aleatoriamente los enlaces β -(1 \rightarrow 4) centrales de la cadena de celulosa), creando cadenas terminales libres creando extremos libres.

-Celobiohidrolasas (CBHs) o exocelulasas (β -1,4-D-glucan 4-celobiohidrolasa) y la cual degrada la molécula adicional (extremos de las cadenas) por eliminación de las unidades de celobiosa de las cadenas terminales libres.

- β -glucosidasa (BGs) o celobiasa (β -D-glucósido glucohidrolasa), la cual hidroliza la celobiosa para producir glucosa. En la Figura 13, se observa este mecanismo.

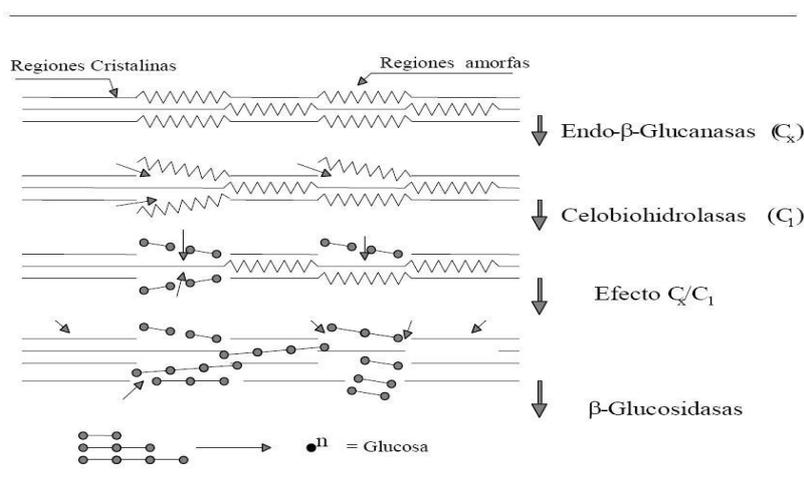


Figura 13. Mecanismo de hidrólisis enzimática de la celulosa .Recuperado de: "Efectos de productos en degradación originados en la explosión por vapor de biomasa" p.46 por Hernández 2017. (Tesis de grado de doctor). Universidad de Compútense de Madrid

1.2.17. Factores que influyen en la hidrólisis enzimática:

Badui Química de los Alimentos (2006) Afirma: La velocidad de las reacciones enzimáticas depende de varios factores dentro de lo que destacan el pH el medio de reacción, la temperatura, la concentración de sustrato y de enzima, y el agua disponible en el medio, entre los más importantes.

i. Efecto de la temperatura:

La velocidad de las reacciones enzimáticas se incrementa con la temperatura, al aumentar la energía cinética de las moléculas, pero sólo en el intervalo en que la enzima es estable y retiene su capacidad catalítica, en casos extremos cuando el incremento es muy grande, se favorece la desnaturalización y consecuentemente la proteína pierde su capacidad catalítica. Existen varios factores que además de la estabilidad conformacional, también afectan la actividad enzimática al aumentar la temperatura y son: la solubilidad de gases (oxígeno), el pH de la solución amortiguadora, la afinidad de la enzima por el sustrato, por activadores o inhibidores; así como la presencia de reacciones de competencia. Por esta razón, cada enzima tiene un intervalo óptimo de temperatura en el cual se logra la mayor actividad, para la mayoría está entre 30 y 45°C, y se inactiva a más de 60°C.

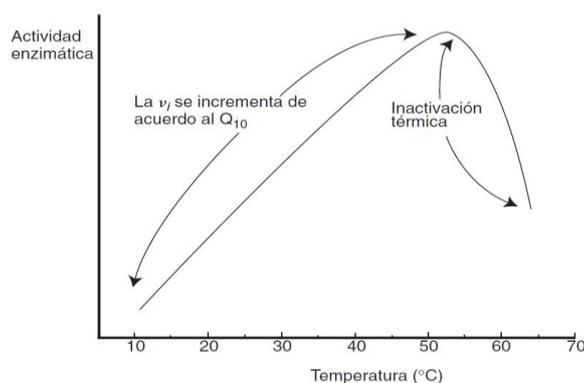


Figura 14. Efectos de la temperatura en la actividad catalítica de la enzimas Recuperado de Badu: "Química de los Alimentos" p.308 (2006).

ii. Efecto del pH:

La actividad de las enzimas depende mucho de la concentración de iones hidrógeno del medio, ya que esto afecta el grado de ionización de los aminoácidos del sitio activo, del sustrato, o del complejo enzima sustrato; todo esto llega a influir en la afinidad que tenga la enzima por el sustrato. Todas las enzimas presentan una máxima actividad catalítica a un

cierto valor óptimo de pH, en un intervalo de 6 a 8, pero este parámetro depende del tipo de enzima con la cual se trabaja. En la Figura 15 se observa que los valores extremos de pH causan la inactivación de enzimas, ya que se induce su desnaturalización, donde (a), óptimo; (b), intervalo de estabilidad de la enzima; (c), intervalo de inactividad reversible, (d), inactivación instantánea.

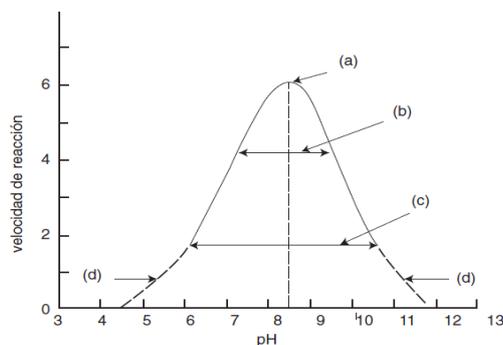
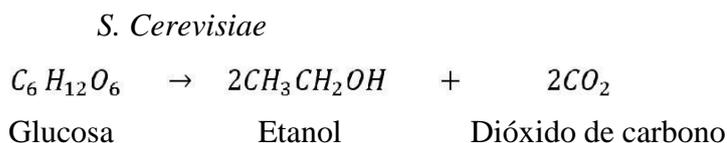


Figura 15. Efecto de la PH en la actividad catalítica de las enzimas Recuperado de Badui: "Química de los Alimentos" p.310 (2006)

1.2.18. Fermentación:

Vázquez & Dacosta (2007) en su investigación .Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas afirma lo sgt:

La fermentación alcohólica es una bioreacción que permite degradar azúcares en alcohol y dióxido de carbono. La conversión se representa mediante la ecuación:



(Bastidas & Arellano,2001).La fermentación alcohólica (denominada también como fermentación del etanol o incluso fermentación etílica), es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire (oxígeno - O₂), originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono (por regla general azúcares: como pueden ser por ejemplo la glucosa, la fructosa, la sacarosa, etc.) para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol (cuya fórmula química es: CH₃-CH₂-OH), dióxido de carbono (CO₂) en forma de gas y unas moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico. La fermentación alcohólica tiene como finalidad biológica proporcionar energía anaeróbica a los

microorganismos unicelulares (levaduras) en ausencia de oxígeno para ello disocian las moléculas de glucosa y obtienen la energía necesaria para sobrevivir, produciendo el alcohol y CO₂ como desechos consecuencia de la

1.2.19. Saccharomyces cerevisiae

(Buitrago & Tenjo, 2007, p.22). En su estudio afirma lo sgt:

Reino : Fungi-Mycetae
División : Amastigomycota-Eumycota
Subdivisión : Ascomycotina
Clase : Ascomycetes-Hemiascomycete
Subclase : Hemiascomycetidae
Orden : Endomycetales-Saccharomycetales
Familia : Saccharomycetaceae-Endomycetaceae
Subfamilia : Saccharomycetoidea
Género : Saccharomyces
Especie : Cerevisiae

Al analizar los resultados y la opinión de (Carvallo, 2000, p.4), afirma lo sgt: saccharomyces cerevisiae, es la especie de levaduras utilizada por excelencia para la obtención de etanol a nivel industrial debido a que es un microorganismo de fácil manipulación y recuperación, no es exigente en cuanto a su cultivo, no presenta alto costo, tolera altas concentraciones de etanol, en la fermentación produce bajos niveles de subproductos, es osmotolerante, capaz de utilizar altas concentraciones de azúcares, presenta alta viabilidad celular para el reciclado y características de floculación y sedimentación para el procesamiento posterior.

Al analizar los resultados y la opinión de (Bastidas & Arellano 2001), afirma lo siguiente: En los procesos de fermentación los valores de pH deben ser controlados entre 4 y 5 para reducir el riesgo de contaminación bacteriana, además para la producción de etanol la temperatura puede estar en el rango de 30°C-39°C pero se presenta pérdida de viabilidad de las células; ya que la temperatura óptima de crecimiento de saccharomyces cerevisiae es entre 28°C y 35°C. Teóricamente la temperatura óptima para la producción de etanol debe ser de 5°C a 10°C más elevada que la temperatura de crecimiento, esto para incrementar el rendimiento del proceso de fermentación.

II. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1. Localización y duración

El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de Química Orgánica y Procesos Industriales de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias (FIQIA) de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo (UNPRG), Lambayeque.

La fase experimental tuvo una duración efectiva de 08 semanas, entre los meses de noviembre y diciembre del 2018.

2.2. Población y muestra de estudio

2.2.1. Población:

Plátano bellaco, inguiri e isla de los mercados de Chiclayo

2.2.2. Metodología para el muestreo:

Con muestreo no probabilístico por conveniencia. Para obtener la muestra se utilizó las cáscaras de plátano de las variedades bellaco inguiri e isla provenientes de los mercados de la ciudad de Chiclayo.

2.3. Puntos de muestreo

El programa de muestreo se lleva a cabo en los diferentes puntos donde abundan las tres variedades de plátano, los cuales son los siguientes:

-Mercado Moshoqueque: Se compró un 1 Kg de plátanos bellaco, isla e inguiri respectivamente.

-Mercado Modelo: Se compró un 1 Kg de plátanos bellaco, isla e inguiri respectivamente.

-Mercado Central: Se compró un 1 Kg de plátanos bellaco, isla e inguiri respectivamente.

Todas las cáscaras obtenidas de los 3 puntos de muestreo se preparó para los análisis respectivos.

2.4 .Diseño Experimental

El diseño aplicado a este trabajo de investigación fue de muestras diferentes, motivo por el cual se trabajó con tres variedades de plátano bellaco, inguiri e isla en la cual se le aplicó un tratamiento previo a las cáscaras para realizar la hidrólisis enzimática y fermentación se trabajó con 5 muestras diferentes por cada variedad de cáscara de plátano, se realizaron 5 repeticiones, las cuales fueron controladas cada 5 horas los parámetros de pH y T°; de cada variedad.

2.5. Materiales y Equipos

- Cáscaras de plátano (bellaco, Inguiri e isla)
- Estufa de 60 °C
- Cocina
- Tubos de ensayo
- Vasos de precipitación
- pH metro
- Termómetro
- Molino de cuchillas
- Balanza analítica
- Frascos de vidrios de 300 ml
- Frascos de vidrios de 100 ml
- Matraces de 250 cm³
- Aspergillus níger al 5%
- Ácido sulfúrico al 5 %
- Agua destilada
- Crisoles
- Placa petri
- Mecheros
- Mufla
- Tamices
- Buretas
- Planchas calefactoras
- Cápsulas magnéticas
- Saccharomyces Cerevisiae
- Tocuyo

2.6. Aislamiento del aspergillus Níger (Microorganismo de estudio)

(Reyes et al., 2013) Para el aislamiento del Aspergillus níger se realizó el siguiente procedimiento:

- i. Muestra:** se utilizó una muestra de suelo agrícola ubicado en la Facultad de Biología de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- ii. Toma y transporte de la muestra:** Se tomó aproximadamente 1 kg obtenido con una palana, eliminando los 2 cm superficiales y colectando el suelo a una profundidad de 20 cm.

Las muestras se depositaron en bolsas de polietileno de cierre hermético estériles debidamente identificada y se transportó en una caja térmica ($10 \pm 1^\circ\text{C}$) hacia el laboratorio de Microbiología y Parasitología, Sección Biotecnología Microbiana de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo en Lambayeque.

iii. Preparación del inóculo: Se preparó un 1% de inóculo de *Aspergillus niger* multiplicado a partir de una inclinación Papa-Dextrosa-Agar (PDA) transfiriendo asépticamente 10g de *Aspergillus niger* puro y tamizado desde la inclinación hasta un matraz volumétrico de 1 litro de agua destilada autoclavada a 121°C por 15 psi. La mezcla se dejó durante 5 a 10 minutos a 150 rpm. Los inóculos el tamaño se establecieron para tener una concentración celular de $1,0 \times 10^8$ células por ml. Este inóculo fue utilizado para la hidrólisis enzimática. Éste procedimiento se realizó por duplicado. (Philomena et al., 2016, p.218).

iv. Cepa: La conservación de la cepa se lleva a cabo haciendo crecer hasta la esporulación un cultivo de esporas de ésta cepa en un medio sólido de Papa-Dextrosa-Agar (PDA) a una temperatura controlada de 30°C . Al cabo de cinco días de crecimiento, se cosecharon las esporas de la superficie de la colonia con un agitador magnético en una solución. De la suspensión obtenida se tomó una concentración de esporas que se añadieron a un recipiente con un medio adecuado para el crecimiento del microorganismo. Una vez que el hongo esporuló, se añadió glicerol previamente esterilizado. El recipiente se conservó en refrigeración ($5 - 10^\circ\text{C}$), obteniéndose una cepa con viabilidad de un año. (Reyes et al. 2013, p.43)

2.6.1. Etapa de pre tratamiento de las cáscaras de plátano

El pre-tratamiento de las cáscaras de plátano se realizó con la finalidad de reducir las partículas de plátano seco a un tamaño de partícula 10 y 100 micras.

i. Secado: 1Kg de materia prima de cada una de las variedades de plátanos bellaco, inguiri e isla, se lavaron y luego fueron llevadas a la estufa del laboratorio de química orgánica de la FIQIA, se colocaron en unas bandejas metálicas, evitando que se mezclen, a una temperatura de 110°C por 48 horas, en la cual cada tres horas se cambiaba de posición, con la finalidad de que toda la piel de las cáscaras estén secas.

ii. Molienda y tamizado: En esta etapa la materia prima seca se trituró en un molino de cuchillas, se obtuvo 360g aproximadamente por cada kg de cáscara de plátano según variedad; posteriormente fue al tamiz, con el propósito de obtener un polvo muy fino, el cual será lo más convenientes, ya que en las etapas posteriores tendrá un área de contacto mucho mayor.

2.6.4. Tratamiento previo al hidrólisis enzimática

Se agregó 10g de cáscara de plátano tamizado y 100 cm³ de inóculo de *Aspergillus Níger* al 5% en un matraz de 250 ml. Posteriormente el matraz se colocó a una plancha calefactora a una temperatura de 125°C y a 300 RPM, para la agitación se utilizó cápsulas magnéticas, por un tiempo de 5 horas. Después de 1 hora de agitación a las condiciones indicadas anteriormente se le agregó 1ml de H₂SO₄ al 5%, para de esta manera romper las moléculas lignocelulósicos. Por cada variedad de cáscara de plátano se realizaron 5 repeticiones.

2.6.5. Etapa de hidrólisis enzimática

Los matraces se incubaron a una temperatura de 35°C y a un pH de 5.5, los cuales son los parámetros óptimos en ésta etapa, por un tiempo de 75 horas, cada 5 horas se evaluaron los parámetros. La hidrolisis enzimática se realiza con la finalidad de transformar la celulosa en glucosa.

2.6.6. Etapa de fermentación:

i. Filtración: culminada la etapa de hidrólisis enzimática, se realizó el filtrado para separar la parte sólida y líquida, utilizando tela tocuvo, recepcionando el mosto en recipiente de 250cm³.

ii. Fermentación: Al mosto obtenido en la etapa anterior se le agregó 0.3g/L de levadura *saccharomyces cerevisiae* y se dejó fermentar por un tiempo de 75 horas a 28-30°C y un pH de 4.8-5.0, los cuales son los parámetros óptimos en ésta etapa. Cada 5 horas se evaluaron los parámetros. En la fermentación se convierten los azúcares reductores en etanol.

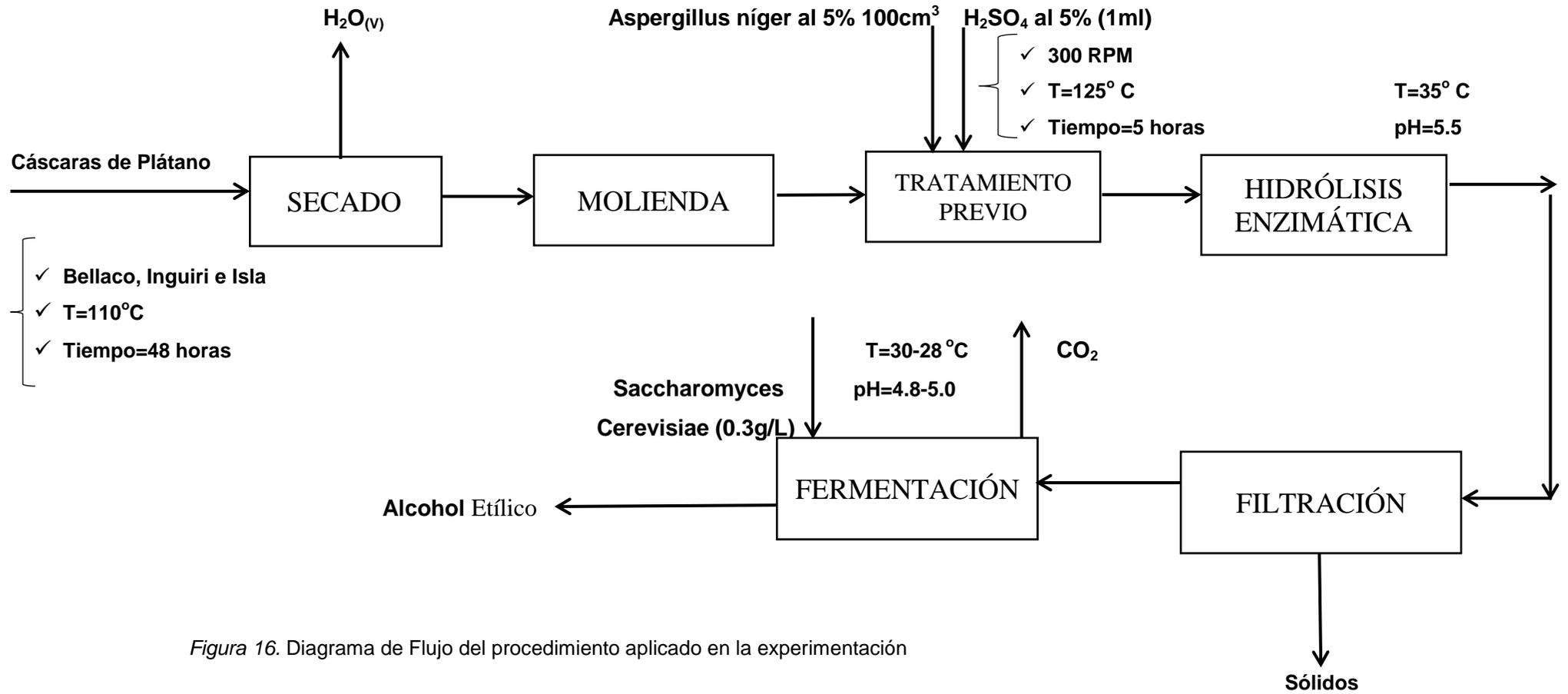


Figura 16. Diagrama de Flujo del procedimiento aplicado en la experimentación

2.7. Determinación de la concentración de azúcares reductores

2.7.1. Determinación del título de fehling

Lees, R. (1982) Se valoró la solución de fehling con la solución de glucosa al 0.5% (p/v) a partir de la cual se calculó el contenido de azúcares reductores.

Se vertieron 5 ml de solución de fehling A y 5 ml de solución de fehling B en un erlenmeyer de 250 ml con 20 ml de agua destilada, agregando perlas de ebullición, para regular la ebullición, llevándose posteriormente a ebullición sobre la estufa con malla de asbesto durante 1.5 – 2 minutos. Mientras se va agitando el vaso se añade la disolución de glucosa al 0.5 % (p/v) desde una bureta hasta que solo quede una coloración azul suave, añadiendo 5 gotas de azul de metileno al 1% y se continua la valoración. El punto final corresponde al cambio de coloración de azul de metileno a rojo ladrillo. Entre el comienzo de la ebullición y la terminación de la valoración no deben transcurrir más de 3 minutos, además se debe mantener la ebullición durante la valoración.

La determinación se debe repetir hasta que los resultados no difieran en ± 0.2 ml

El título se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{(Pg) \times (Vg)}{100 \text{ ml de la solución}} \dots \dots \dots \text{Ecuación(I)}$$

T= Título: gramos de glucosa empleados para titular la solución de fehling.

Pg= Peso de glucosa empleado para preparar la solución patrón, en gramos.

Vg= Volumen del patrón para titular la solución de fehling, en ml.

2.7.2. Valoración de la muestra

En un matraz erlenmeyer limpio se agregó 5 ml de solución A, 5 ml de solución B de fehling, 20 ml de agua destilada. Procediéndose como se indicó el numeral 2.6.1, pero empleando como titulante:

- El líquido resultante del pre tratamiento.
- El filtrado recogido de las muestras después de hidrólisis enzimática.

2.7.3. Cálculo de la concentración de azúcares reductores

El volumen de muestra y los gramos de solución de glucosa gastados para titular la solución de fehling, son equivalentes.

Azúcares reductores expresados en gramos de glucosa/ L de producto.

$$\text{Gramos de glucosa/L} = \frac{1000\text{ml} \times \text{Titulo}}{\text{Vgastado} \times \text{Valicuota}} \dots\dots\dots \text{Ecuación(II)}$$

2.8. Determinación de celulosa por el método de kurschner y Hoffer

Se tomó 1 gramo de materia anhidra libre de extractos, se colocó en un matraz, se le añadió 20 ml de etanol y 5 ml de ácido nítrico concentrado. Se hirvió en baño maría a reflujo durante 30 minutos. La solución se pasó por un filtro gooch de porosidad media y peso conocido. El líquido se desechó y el sólido se sometió a una segunda digestión de 30 minutos con 25 ml de etanol ácido nítrico. Se realizó una decantación como en la etapa anterior y se efectuó una tercera digestión con 100 ml de agua destilada por una hora. La muestra se filtró en el gooch, se lavó con agua destilada caliente y posteriormente con 100 ml solución saturada de acetato de sodio y por ultimo con 500 ml de agua destilada caliente. El residuo se secó en un horno eléctrico a una temperatura de $105^{\circ} \text{C} \pm 3^{\circ} \text{C}$ para luego enfriado en un desecador en un desecador de cristal sobre silica gel y pesarlo. El porcentaje de celulosa se calculó con la siguiente relación.

Dónde: Ps = Peso seco del residuo (g)

Po=Peso anhidro de la muestra (g)

$$\% \text{ celulosa} = (\text{Po} - \text{Ps}) \times 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación (III)}$$

2.9. Variables del estudio

2.9.1. Variable independiente

Hidrólisis enzimática y fermentación del material lignocelulósico de las cáscaras de plátanos en sus variedades bellaco, inguiri e isla.

2.9.2. Variable dependiente

Azúcares reductores obtenidos de hidrólisis enzimática y rendimiento de etanol obtenido de la fermentación de las cáscaras de plátanos en sus variedades bellaco, inguiri e isla.

2.10. Contrastación de hipótesis

En la presente investigación las hipótesis quedan definidas de la siguiente manera:

“A mayor cantidad de azúcares reductores es posible obtener mayor cantidad de etanol.”

“A temperatura y pH óptimo es posible obtener proceso de la hidrólisis enzimática óptimo.”

“A temperatura y pH óptimo es posible obtener proceso fermentación óptimo”

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Evaluación de la hidrólisis enzimática

Tabla 3

Resultados del pH y temperatura de hidrólisis enzimática durante las 75 horas de proceso de incubación.

| Variedades | | Resultados de hidrólisis enzimática | | | | | |
|------------|----------------|-------------------------------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|
| N de Días | Tiempo (horas) | Plátano bellaco | | Plátano inguiri | | Plátano de isla | |
| | | | | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C |
| 1 DIA | 5 | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C |
| | 10 | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C |
| | 15 | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C |
| | 20 | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.4 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C |
| | 25 | pH=5.6 | T=35.0°C | pH=5.4 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C |
| 2 DIA | 30 | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C |
| | 35 | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C |
| | 40 | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C |
| | 45 | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C |
| | 50 | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.4 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C |
| 3 DIA | 55 | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C |
| | 60 | pH=5.4 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.4 | T=35.0°C |
| | 65 | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.4 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C |
| | 70 | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.4 | T=35.0°C |
| | 75 | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C | pH=5.5 | T=35.0°C |

3.1.1. Hidrólisis enzimática de las cáscaras de plátano bellaco

Tabla 4
Evaluación del pH promedio durante 75 horas de incubación de hidrólisis enzimática a 35 °C de las cáscaras de plátano bellaco.

| HORA | DOSIS | PH promedio | TEMPERATURA promedio (°C) |
|------|-----------|-------------|---------------------------|
| 5 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 10 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 15 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 20 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 25 | 10g/100ml | 5.6 | 35.0 |
| 30 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 35 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 40 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 45 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 50 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 55 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 60 | 10g/100ml | 5.4 | 35.0 |
| 65 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 70 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 75 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |

pH óptimo: 5.5 T óptima: 35°C

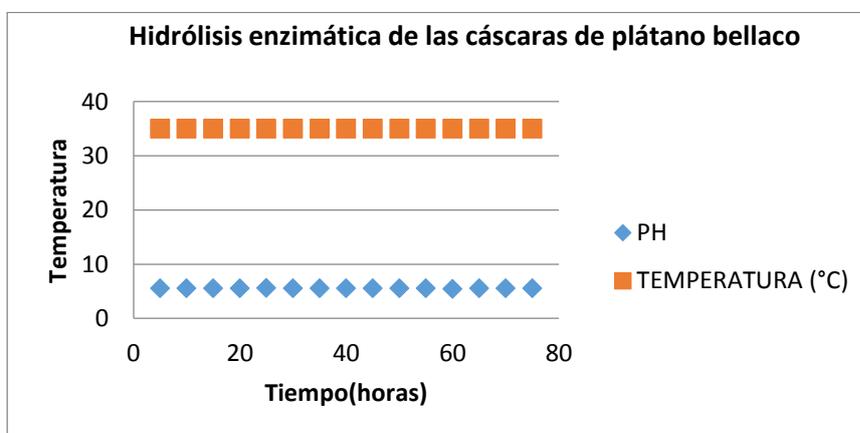


Figura 17. Evaluación del pH promedio durante 75 horas de incubación de hidrólisis enzimática a 35°C de las cáscaras de plátano bellaco

Por cada variedad de cáscara de plátano, se realizaron 5 repeticiones, las cuales fueron controladas cada 5 horas los parámetros de pH y T°; y los resultados que se muestran en la tabla 4 son los promedios obtenidos de las 5 muestras evaluadas.

En la evaluación de los resultados comparando con los parámetros óptimos de hidrólisis enzimática durante las 75 horas, se puede observar que el pH promedio inicial fue de 5.5, con una pequeña variación a las 25 horas donde el pH promedio fue de 5.6 y a las 60 horas el pH promedio fue de 5.4, por lo que la variación de pH

Por cada variedad de cáscara de plátano, se realizaron 5 repeticiones, las cuales fueron controladas cada 5 horas los parámetros de pH y T°; y los resultados que se muestran en la tabla 5 son los promedios obtenidos de las 5 muestras evaluadas.

En la evaluación de los resultados comparando con los parámetros óptimos de hidrólisis enzimática durante las 75 horas, se puede observar que el pH promedio inicial fue de 5.5, con una pequeña variación a las 20, 25, 50 y 65 horas donde el pH promedio fue 5.4, por lo que se observa que la variación de pH no ha sido significativa y la temperatura se mantiene constante en todo el proceso de hidrólisis de las cáscaras de plátano inguiri; así como se muestra en la figura 18.

3.1.3. Hidrólisis enzimática de las cáscaras de plátano de isla

Tabla 6
Evaluación del pH promedio durante 75 horas de incubación de la hidrólisis enzimática a 35 °C de las cáscaras de plátano de isla.

| HORA | DOSIS | PH promedio | TEMPERATURA promedio (°C) |
|----------------|-----------|---------------|---------------------------|
| 5 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 10 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 15 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 20 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 25 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 30 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 35 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 40 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 45 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 50 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 55 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 60 | 10g/100ml | 5.4 | 35.0 |
| 65 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| 70 | 10g/100ml | 5.4 | 35.0 |
| 75 | 10g/100ml | 5.5 | 35.0 |
| pH optimo: 5.5 | | Toptima: 35°C | |

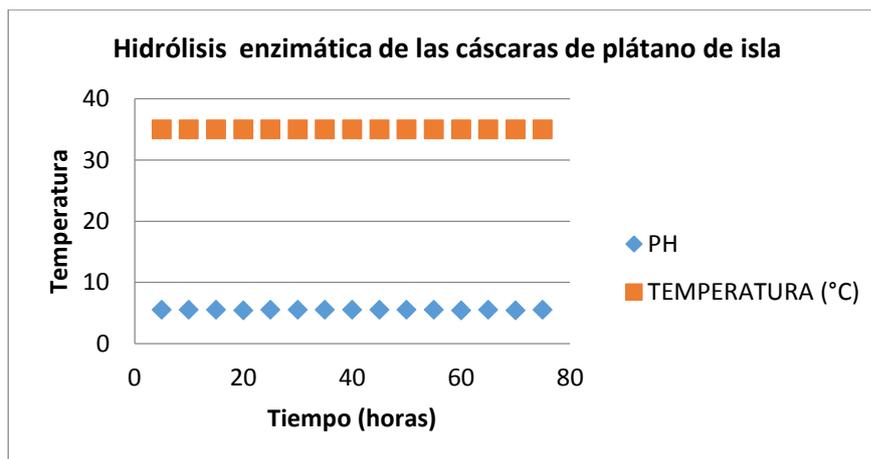


Figura 19. Evaluación del pH promedio durante 75 horas de incubación de hidrólisis enzimática a 35°C de las cáscaras de plátano de isla

Por cada variedad de cáscara de plátano, se realizaron 5 repeticiones, las cuales fueron controladas cada 5 horas los parámetros de pH y T°; y los resultados que se muestran en la tabla 6 son los promedios obtenidos de las 5 muestras evaluadas.

En la evaluación de los resultados comparando con los parámetros óptimos de hidrólisis enzimática durante las 75 horas, se puede observar que el pH promedio inicial fue de 5.5, con una pequeña variación a las 60 y 70 horas donde el pH promedio fue de 5.4, por lo que se observa que la variación de pH no ha sido significativa y la temperatura se mantiene constante en todo el proceso de hidrólisis de las cáscaras de plátano de isla; así como se muestra en la figura 19.

3.2. Determinación de los azúcares reductores

Tabla 7
Resultado de los Volúmenes gastados antes y después de hidrólisis enzimática.

| Variedades de Plátano | Muestra | Vg (ml) Inicial | Vg(ml) Final | GL |
|-----------------------|---------|-----------------|--------------|-----|
| Patrón | 0 | 9.1 | 9.1 | |
| | 1 | 2.65 | 2.10 | 1.2 |
| Plátano Bellaco | 2 | 2.60 | 2.05 | 1.2 |
| | 3 | 2.62 | 2.08 | 1.2 |
| | 4 | 2.64 | 2.06 | 1.3 |
| | 5 | 2.62 | 2.06 | 1.3 |
| | 6 | 2.96 | 2.60 | 1.1 |
| Plátano Inguiri | 7 | 2.98 | 2.62 | 1.1 |
| | 8 | 2.96 | 2.62 | 1.1 |
| | 9 | 2.97 | 2.61 | 1.0 |
| | 10 | 2.98 | 2.63 | 1.0 |
| | 11 | 2.73 | 2.51 | 1.1 |
| Plátano de Isla | 12 | 2.76 | 2.53 | 1.2 |
| | 13 | 2.78 | 2.54 | 1.1 |
| | 14 | 2.75 | 2.52 | 1.2 |
| | 15 | 2.77 | 2.53 | 1.1 |

GL=Grados Gay Lussac

Vg inicial =Volumen gastado antes de la etapa de hidrólisis

Vg final =Volumen gastado después de la etapa de hidrólisis

En la Tabla 7. Se observa los resultados de los volúmenes gastados antes y después de hidrólisis en la titulación para determinar la cantidad de azúcares reductores, en las cáscaras de plátano de las variedades bellaco, Inguiri e isla. Se realizó una muestra en blanco como patrón con 0.5 gramos de glucosa en 100 ml de agua destilada.

Al momento de la titulación los puntos de viré fueron los siguientes para cada variedad:

El viré de las cáscaras de plátano bellaco fue de color ámbar rojizo.

El viré de las cáscaras de plátano Inguiri fue de color amarillo pálido.

El viré de las cáscaras de plátano de isla fue de color amarillo anaranjado.

Se puede observar que los volúmenes iniciales son mayores a los finales, esto es una explicación en la cual la solución de 5 % de aspergillus niger rompe las moléculas de hemicelulosa presente en las cáscaras de plátano y transforma las cadenas de polisacáridos que forman la biomasa en sus monómeros elementales.

Tabla 8
Azúcares reductores presentes antes y después de hidrólisis (g/L)

| | Muestra | Bellaco | Inguiri | Isla |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| Antes de Hidrolisis | 1 | 1.717 | 1.537 | 1.667 |
| | 2 | 1.750 | 1.527 | 1.649 |
| | 3 | 1.737 | 1.537 | 1.637 |
| | 4 | 1.723 | 1.532 | 1.655 |
| | 5 | 1.737 | 1.527 | 1.643 |
| Promedio | | 1.733 | 1.532 | 1.650 |
| Después de Hidrolisis | 1 | 2.167 | 1.750 | 1.813 |
| | 2 | 2.220 | 1.737 | 1.798 |
| | 3 | 2.188 | 1.737 | 1.791 |
| | 4 | 2.209 | 1.743 | 1.806 |
| | 5 | 2.209 | 1.730 | 1.798 |
| Promedio | | 2.199 | 1.739 | 1.801 |

En la Tabla 8, se observa la cantidad de azúcares reductores presentes en las cáscaras de plátano de las variedades bellaco, Inguiri e isla, se realizaron la prueba de fehling. El objetivo de estas pruebas fue conocer la cantidad de azúcares reductores presentes en las cáscaras de plátano antes de realizar la hidrólisis enzimática y después, para determinar en qué variedad se obtiene los mejores resultados.

Se observó, que antes del proceso de hidrólisis las cáscaras que tuvieron una mayor cantidad de azúcares reductores fue las cáscaras de plátano bellaco con un 1.733g/L promedio, seguido de las cáscaras de plátano de isla con 1.650 g/L promedio y por último las cáscaras de plátano inguiri con 1.532 g/L promedio.

Después de la hidrólisis enzimática (aspergillus níger al 5%) resultó mayor la cantidad de azúcares reductores, esto se debe a que el aspergillus níger es un catalizador enzimático el cual cumple la función de rompimiento del material lignocelulósico; en muestras de las cáscaras de plátano bellaco se obtuvieron 2.199g/L promedio, seguido de las cáscaras de plátano de isla con 1.801g/L promedio y por último las cáscaras de plátano inguiri con 1.739g/L promedio de azúcares reductores.

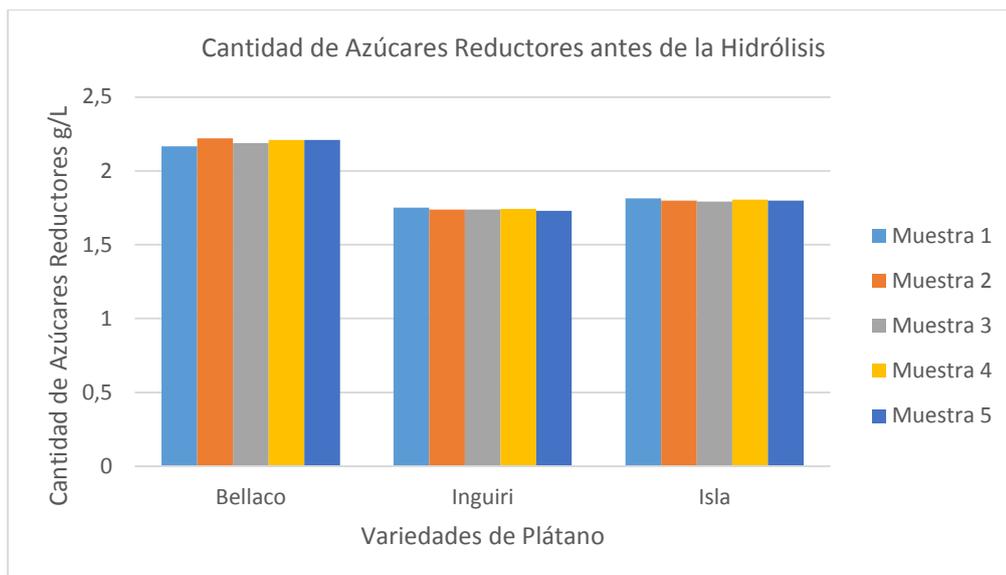


Figura 20. Evaluación de la cantidad de azúcares reductores antes de la hidrólisis enzimática (g/L).

En la figura 20, se observan las cantidades de azúcares reductores presentes en las cáscaras de las tres variedades de plátano bellaco, inguiri e isla, antes del proceso de hidrólisis enzimática.

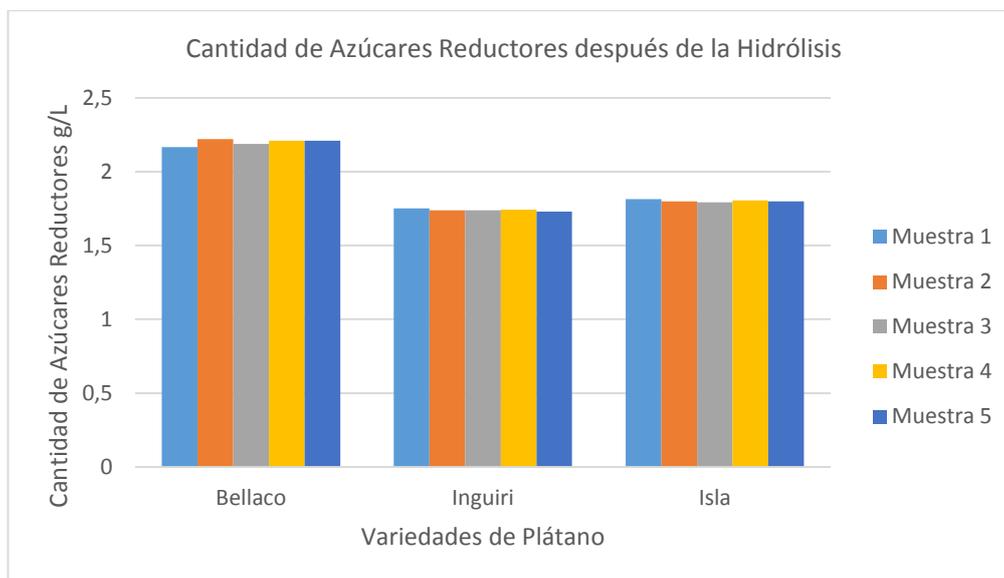


Figura 21. Evaluación de la cantidad de azúcares reductores después de la hidrólisis enzimática (g/L).

En la figura 21, se observan las cantidades de azúcares reductores presentes en las cáscaras de las tres variedades de plátano bellaco, inguiri e isla, después de hidrólisis enzimática.

Tabla 9

Resultados promedios % de celulosa, % de cenizas, % de humedad de las cáscaras de las variedades de los plátanos bellaco, inguiri e isla.

| Plátanos | % Celulosa | % Cenizas | % Humedad |
|-----------------|-------------------|------------------|------------------|
| Bellaco | 46.60 | 0.48 | 3.39 |
| Inguiri | 44.40 | 0.32 | 3.69 |
| Isla | 43.80 | 0.40 | 3.26 |

En la Tabla 9, se observa que el mayor % de celulosa se encuentra en las cáscaras del plátano bellaco con 46.60%, seguido de las cáscaras del plátano inguiri con un 44.40 % y por último las cáscaras de plátano de isla con un 43.80%. El mayor % de cenizas se encuentra en las cáscaras de plátano bellaco con un 0.48%, luego las cáscaras de plátano de isla con 0.40% y por último las cáscaras de plátano inguiri con un 0.32%. Con respecto al % de humedad quien presenta un mayor porcentaje son las cáscaras de plátano inguiri con un 3.69%, seguido de las cáscaras de plátano bellaco las cuales tienen 3.39%, y por último las cáscaras del plátano de isla con un 3.26%.

Philomena et al., (2016), en su evaluación de resultados con respecto al % de celulosa en las cáscaras de plátanos, obtuvieron un 49.0 %, por lo cual es similar al valor de celulosa de las cáscaras de plátano bellaco.

3.3. Evaluación de la fermentación

Tabla 10
Resultados del pH y temperatura de la fermentación durante las 75 horas de proceso.

| Variedades | | Resultados de la fermentación | | | | | |
|--------------|----------------|-------------------------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|
| N de Días | Tiempo (horas) | Plátano bellaco | | Plátano inguiri | | Plátano de isla | |
| | | | | pH | T | pH | T |
| 1 DIA | 5 | pH=5.0 | T=30.0°C | pH=5.0 | T=29.8°C | pH=5.0 | T=30.0°C |
| | 10 | pH=4.8 | T=29.5°C | pH=4.9 | T=29.6°C | pH=5.0 | T=29.1°C |
| | 15 | pH=4.8 | T=29.2°C | pH=4.8 | T=29.4°C | pH=4.9 | T=30.0°C |
| | 20 | pH=4.9 | T=29.9°C | pH=4.8 | T=28.5°C | pH=4.8 | T=29.4°C |
| | 25 | pH=4.8 | T=29.1°C | pH=4.8 | T=28.7°C | pH=4.8 | T=29.2°C |
| 2 DIA | 30 | pH=4.8 | T=28.3°C | pH=5.0 | T=28.6°C | pH=4.9 | T=28.4°C |
| | 35 | pH=4.8 | T=28.7°C | pH=5.0 | T=29.2°C | pH=5.0 | T=29.5°C |
| | 40 | pH=4.8 | T=30.0°C | pH=4.9 | T=29.4°C | pH=5.0 | T=29.8°C |
| | 45 | pH=4.8 | T=28.6°C | pH=4.9 | T=28.6°C | pH=4.9 | T=28.6°C |
| | 50 | pH=4.9 | T=29.4°C | pH=4.9 | T=29.0°C | pH=4.9 | T=28.1°C |
| 3 DIA | 55 | pH=4.8 | T=28.6°C | pH=4.8 | T=28.5°C | pH=5.0 | T=29.5°C |
| | 60 | pH=4.8 | T=28.5°C | pH=5.0 | T=28.4°C | pH=4.8 | T=29.2°C |
| | 65 | pH=4.8 | T=28.4°C | pH=4.8 | T=29.6°C | pH=4.8 | T=28.3°C |
| | 70 | pH=4.8 | T=28.2°C | pH=4.8 | T=28.8°C | pH=4.9 | T=28.3°C |
| | 75 | pH=4.8 | T=28.5°C | pH=4.8 | T=29.0°C | pH=4.9 | T=30.0°C |

En la tabla 11 se muestran los resultados de la evaluación de los parámetros de pH y temperatura, en la cual cada 5 horas se controlaban y los resultados que se muestran en la tabla son los promedios obtenidos de las 5 repeticiones.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el pH promedio mostró una variación de 4.8-5.0 y la temperatura promedio entre 28-30°C, similar a lo reportado por:

Chongkhong et al., (2015) en su investigación sostuvo que la producción de etanol a partir de cáscaras de banano en el proceso de fermentación las condiciones óptimas fueron pH de 4.8 a 28°C durante 72 horas.

En la evaluación de los resultados comparando con los parámetros óptimos del proceso de fermentación, se puede observar que los parámetros de pH y temperatura promedio durante las 75 horas se encontraron en el rango establecido, así como se muestra en la figura 22.

3.3.2. Fermentación del hidrolizado de cáscaras de plátano inguiri

Tabla 12

Evaluación de temperatura y pH promedio durante la fermentación del hidrolizado de las cáscaras de plátano de inguiri.

| HORA | GRAMOS | PH promedio | TEMPERATURA promedio(°C) |
|----------------|----------|----------------|--------------------------|
| 5 | 10g/62ml | 5.0 | 29.8 |
| 10 | 10g/62ml | 4.9 | 29.6 |
| 15 | 10g/62ml | 4.8 | 29.4 |
| 20 | 10g/62ml | 4.8 | 28.5 |
| 25 | 10g/62ml | 4.8 | 28.7 |
| 30 | 10g/62ml | 5.0 | 28.6 |
| 35 | 10g/62ml | 5.0 | 29.2 |
| 40 | 10g/62ml | 4.9 | 29.4 |
| 45 | 10g/62ml | 4.9 | 28.6 |
| 50 | 10g/62ml | 4.9 | 29.0 |
| 55 | 10g/62ml | 4.8 | 28.5 |
| 60 | 10g/62ml | 5.0 | 28.4 |
| 65 | 10g/62ml | 4.8 | 29.6 |
| 70 | 10g/62ml | 4.8 | 28.8 |
| 75 | 10g/62ml | 4.8 | 29.0 |
| pH óptimo: 5.0 | | T óptima: 30°C | |

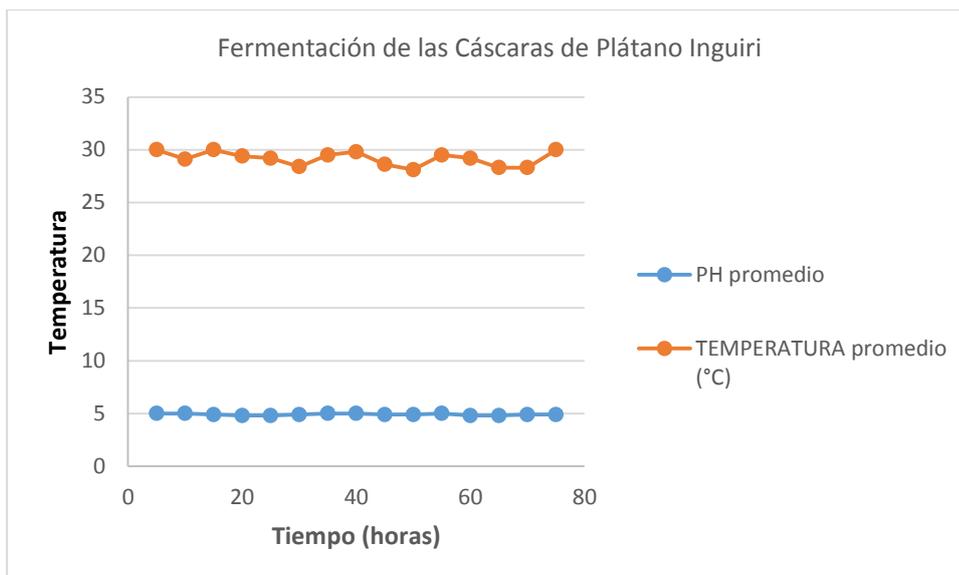


Figura 23. Evaluación de la temperatura y pH promedio durante la fermentación del hidrolizado de las cáscaras de plátano inguiri.

En la tabla 12 se muestran los resultados de la evaluación de los parámetros de pH y temperatura, en la cual cada 5 horas se controlaban y los resultados que se muestran en la tabla son los promedios obtenidos de las 5 repeticiones.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el pH promedio mostró una variación de 4.8-5.0 y la temperatura promedio entre 28-30°C, similar a lo reportado por:

Chongkhong et al., (2015) en su investigación sostuvo que la producción de etanol a partir de cáscaras de banano en el proceso de fermentación las condiciones óptimas fueron pH de 4.8 a 28°C durante 72 horas.

En la evaluación de los resultados comparando con los parámetros óptimos del proceso de fermentación, se puede observar que los parámetros de pH y temperatura promedio durante las 75 horas se encontraron en el rango establecido, así como se muestra en la figura 23.

3.3.3. Fermentación del hidrolizado de cáscaras de plátano isla

Tabla 13

Evaluación de temperatura y pH promedio durante la fermentación del hidrolizado de las cáscaras de plátano de isla.

| HORA | GRAMOS | PH promedio | TEMPERATURA promedio (°C) |
|------|----------|-------------|---------------------------|
| 5 | 10g/64ml | 5.0 | 30.0 |
| 10 | 10g/64ml | 5.0 | 29.1 |
| 15 | 10g/64ml | 4.9 | 30.0 |
| 20 | 10g/64ml | 4.8 | 29.4 |
| 25 | 10g/64ml | 4.8 | 29.2 |
| 30 | 10g/64ml | 4.9 | 28.4 |
| 35 | 10g/64ml | 5.0 | 29.5 |
| 40 | 10g/64ml | 5.0 | 29.8 |
| 45 | 10g/64ml | 4.9 | 28.6 |
| 50 | 10g/64ml | 4.9 | 28.1 |
| 55 | 10g/64ml | 5.0 | 29.5 |
| 60 | 10g/64ml | 4.8 | 29.2 |
| 65 | 10g/64ml | 4.8 | 28.3 |
| 70 | 10g/64ml | 4.9 | 28.3 |
| 75 | 10g/64ml | 4.9 | 30.0 |

pH óptimo: 5.0 **T óptima: 30°C**

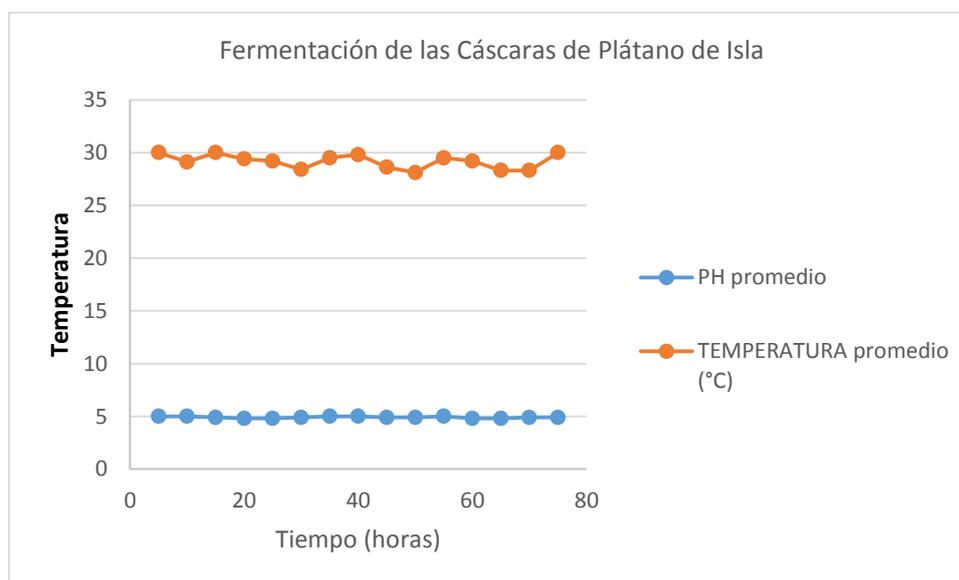


Figura 24. Evaluación de temperatura y pH promedio durante la fermentación del hidrolizado de las cáscaras de plátano Isla.

En la tabla 13 se muestran los resultados de la evaluación de los parámetros de pH y temperatura, en la cual cada 5 horas se controlaban y los resultados que se muestran en la tabla son los promedios obtenidos de las 5 repeticiones.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el pH promedio mostró una variación de 4.8-5.0 y la temperatura promedio entre 28-30°C, similar a lo reportado por:

Chongkhong et al., (2015) en su investigación sostuvo que la producción de etanol a partir de cáscaras de banano en el proceso de fermentación las condiciones óptimas fueron pH de 4.8 a 28°C durante 72 horas.

En la evaluación de los resultados comparando con los parámetros óptimos del proceso de fermentación, se puede observar que los parámetros de pH y temperatura promedio durante las 75 horas se encontraron en el rango establecido, así como se muestra en la figura 24.

3.4. Determinación de Rendimiento de Etanol

Tabla 14

Rendimiento de Etanol promedio en L/TM según las diferentes variedades de cáscara de Plátano

| VARIEDADES | RENDIMIENTO PROMEDIO(L/TM) |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Cáscara de Plátano Bellaco | 81.84 |
| Cáscara de Plátano Inguiri | 65.72 |
| Cáscara de Plátano de Isla | 72.96 |

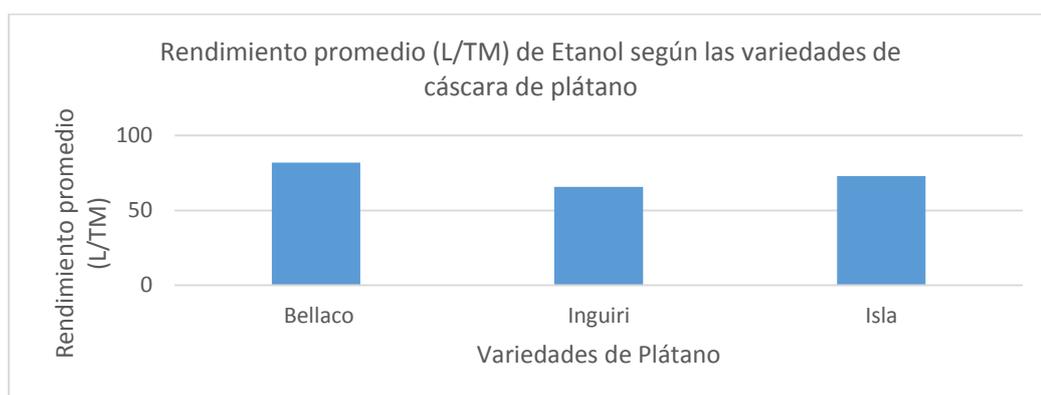


Figura 25. Evaluación del Rendimiento promedio de Etanol (L/TM) según las variedades de cáscara de plátano.

En la Tabla 14, se muestra el rendimiento promedio de etanol obtenido de las cáscaras de plátano de las variedades bellaco, Inguiri e isla.

Las cáscaras en las que se obtuvo el mayor rendimiento promedio de etanol fueron en el plátano bellaco, seguido del plátano de isla y por último el plátano inguiri. Los resultados que se obtuvieron en las cáscaras de plátano bellaco fue de 81.84 L/TM, en las cáscaras de plátano isla 72.96 L/TM y por último en las cáscaras de plátano inguiri 65.72 L/TM, así como se muestra en la figura 25.

IV. CONCLUSIONES

- Se determinó que en la hidrólisis enzimática de las cáscaras de plátano de las variedades bellaco, inguiri e isla, los resultados obtenidos se encuentran dentro de los parámetros óptimos; temperatura de 35°C y pH de 5.5.
- Se determinó que, en el proceso de fermentación de las cáscaras de plátano bellaco, inguiri e isla, los resultados obtenidos se encuentran dentro de los parámetros óptimos, temperatura de 28-30°C y pH de 4.8-5.0.
- Se determinó la cantidad de azúcares reductores mediante la solución de fehling antes de hidrólisis enzimática: se obtuvo en las cáscaras de plátano bellaco 1.733g/L, inguiri 1.532g/L e isla 1.650g/L, en donde la cáscara de plátano bellaco inicia con un mayor número de azúcares reductores.
- Se determinó la cantidad de azúcares reductores mediante la solución de fehling después de hidrólisis enzimática: se obtuvo en las cáscaras de plátano bellaco 2.199g/L, inguiri 1.739g/L e isla 1.801g/L, en donde al término de hidrólisis enzimática, se observa que las cáscaras de plátano bellaco obtuvieron los mejores resultados.
- Se analizó el % celulosa por el método kurschner y hoffer presente en las cáscaras de plátano, en la variedad bellaco se obtuvo 46.60%, inguiri 44.40% e isla 43.80 %, en el cual el mayor % lo obtuvo las cáscaras de plátano bellaco.
- Se determinó el rendimiento de etanol en las cáscaras de plátano bellaco, inguiri e isla los cuales dieron como resultado 81.84 L/TM, 65.72 L/TM y 72.96 L/TM respectivamente, en donde se obtiene el mayor rendimiento en las cáscaras de plátano bellaco.

V. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios complementarios y adicionales con la finalidad de darle un mayor uso a las cáscaras de plátano.
- Realizar un estudio de inversión para instalar una planta para obtener alcohol etílico a partir de las cáscaras de plátano.
- Debido a que se trabaja con azúcares, se está propenso a una contaminación con microorganismos patógenos, por lo que es necesario trabajar con sumo cuidado y precaución.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Armstrong, B. y Bennett, P. (1992). *Bioquímica*. Francia. Editorial RevertéS.A..

Anónimo *Hoja de Seguridad XII Etanol*

Recuperado: <http://www.regenciaquimica.ucr.ac.cr/sites/default/files/Etanol.pdf>

Arévalo, M & Blass, M (2012) “*Influencia de la concentración de celulosa en la producción de alcohol etílico a partir de bagazo de caña de azúcar*” Tesis de grado UNPRG.

Azcón, B. & Talón, M. (2013). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. México D.F. Mc Graw-Hill Interamericana.

Badui, S (2006). “*Química de los Alimentos*”. Editorial Pearson. 4^{ta} edición México.

Barroso M. (2010). “*Pretratamiento de Biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería*”. (Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid.). Recuperado http://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf

Bastidas, E & Arellano (2001). “*Diseño preliminar de un proceso basado en fermentación extractiva para fabricación de etanol.*” Escuela de Ingeniería Química. Universidad del Valle.

Brown, R. (2003). *Cellulose structure and biosynthesis: What is in store for the 2st century?* Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry. Wiley Periodicals

Buitrago, E. & Tenjo, C (2007) *Obtención de un sustrato fermentable de origen vegetal y su evaluación con células libres de Saccharomyces cerevisiae* (Tesis pre grado) Pontificia Universidad Javeriana, Colombia

Caparrós, S. (2009). *Fraccionamiento integral de vegetales no alimentarios para la obtención de pasta celulósica y subproductos* (Tesis Doctoral, Universidad de Huelva). Recuperado:

<http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/328/b15296283-1.pdf>

Cárdenas D. (2009). *Estudio de la Cadena de Mercado Plátano* Ministerio de Agricultura Recuperado de: http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/banano/estudio_platano.pdf

Carballo, F. (2000). *Microbiología Industrial: microorganismos de interés industrial* Editorial Acribia. España.

Cortínez, V (2010) *Comparación en pretratamientos en residuos forestales para la producción de bioetanol de segunda generación: Hidrólisis Ácida y líquidos iónicos* (Universidad de Chile) Recuperado:

<file:///C:/Users/cliente/Desktop/FIGURA%20DEL%20MATERIAL%20LIGNO%20CELULOSICO.pdf>

Escalante J. & Fuente H. (2013) *Estudio experimental de obtención de obtención de bioetanol a partir de los residuos agrícolas de banano orgánico en Piura.*

Tesis de grado. Recuperado:

https://pirhua.udel.edu.pe/bitstream/handle/11042/1744/ING_531.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Frutas y Hortalizas Plátano. *Musa SP. /Musácea*

Recuperado de: <http://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Presentacion-Platano.html>

Godina A & Salvador E (2016) *Obtención de bioetanol partir de las cáscaras de plátano* Recuperado de:

https://bioplatanoblog.files.wordpress.com/2016/04/bioplatanol_2-1_esme_ana.pdf

Harinder, O; Praveen; Lavudi, S; Sunil, B; Joshua, H. (2011) *Producción de etanol a partir de cáscaras de plátano utilizando un proceso de sacarificación y fermentación simultáneo estadísticamente optimizado* Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11000742>

Hernández, C (2017) *Obtención de bioetanol a partir de hidrolizados de residuos frutas*. Universidad de Oviedo

Herrera, M & Colonia, L (2011) *Manejo integrado del cultivo del plátano* Universidad nacional agraria de la molina
Recuperado de: file:///E:/ARCHIVOS%20DE%20TESIS/MANEJO_INTEGRADO_DEL_CULTIVO_DE_PLATANO.pdf

Ighodaro, O.M (2012) *Evaluation Study of Nigerian Species of Musa paradisiaca peels*. Recuperado de: <http://www.sciencepub.net/researcher>.

Lees, R. (1982) *Análisis de los Alimentos. Métodos analíticos y de control de calidad*. Editorial Acribia España, Pearson, D Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos.

Ministerio de Agricultura “*Producción de Plátano (miles de toneladas métricas)*”2017. Recuperado de : <http://webapp.inei.gob.pe:8080/sirtod-series/>

Montealegre & Polanco (2016). “*Obtención de azúcares reductores a partir de residuos de corte de césped de la ciudad de Bogotá, por medio de hidrólisis en agua sub y supercrítica*”. (Tesis de grado, Universidad Politécnica de Bogotá.).

Morrinson y Boyd. (1999). “*Química Orgánica*” 5^a edición, Editorial Pearson

Natursan. (2016). *Banana y plátano: diferencias*. Recuperado de <https://www.natursan.net/banano-y-platano-diferencias-nutricionales/>

Oliva, J. (2003). “*Efecto De Los Productos De Degradación Originados En La Explosión Por Vapor De Biomasa De Chopo Sobre Kluyveromyces Marxianus*”. Tesis Doctoral. Universidad Complutense De Madrid. España.

Philomena K. J, Christian N. I, Joseph T. N. (2016).

Hidrólisis enzimática y fermentación de cáscaras de plátano: optimización y estudios cinéticos en Nigeria

Recuperado de: http://file.scirp.org/pdf/ACES_2016042815414258.pdf

Portilla, A. (2010). *Origen del Plátano*

Recuperado de: <https://gustoporlahistoria.com/tag/origen-del-platano/>

Reyes, I; González. M; López, F. (2013). *Un Análisis del Metabolismo de Aspergillus Níger Creciendo sobre un Sustrato Solido* Revista de Ingeniería Química México. Recuperado:

<http://www.redalyc.org/pdf/620/62028007005.pdf>

Rodríguez, M & Guerrero, M. (2010). *Factores Ambientales que Influyen en el Cultivo del Plátano. Guía técnica cultivo del plátano*

Recuperado de: <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=1803>

Rojas M. & Colonia L. (2011) .*Manejo Integrado del Cultivo de Plátano Jornada de Capitación de la UNALM* . Recuperado de:

https://www.agrobanco.com.pe/pdfs/capacitacionesproductores/Platano/MANEJO_INTEGRADO_DEL_CULTIVO_DE_PLATANO.pdf

Romero B. H, Tinoco G. O, Dávila D.K. (2015). “*Hidrolisis Enzimática de residuos agroindustriales del banano para la obtención del jugo glucosado aplicando tres pre tratamientos*” Recuperado de:

<http://www.redalyc.org/pdf/816/81642256012.pdf>

Sun, Y. & Cheng, J. (2002) *.Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. Bioresource Technology*

Tomas, E. (2010). “*Bioetanol de paja de trigo: Estrategias de integración de las etapas de proceso*”. (Tesis de doctorado) Universidad de Complutense de Madrid

Valenzuela, M (2012) “*Hidrólisis enzimática del excedente orgánico del banano usando el hongo trametes versicolor para la obtención de etanol*” (Tesis de grado) Universidad de Central del Ecuador de Quito

Vázquez, J. & Dacosta, O. (2007). *Fermentación alcohólica Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. Ingeniería Investigación y Tecnología*”. Ingeniería de Investigación y Tecnológica Universidad Autónoma de México
Recuperado: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40480404>

Velazco, M. (2014) “Farmacología y toxicología del alcohol Etílico o Etanol”
Recuperado: [file:///C:/Users/cliente/Downloads/Dialnet-FarmacologiaYToxicologiaDelAlcoholEtilicoOEtanol-5361614%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/cliente/Downloads/Dialnet-FarmacologiaYToxicologiaDelAlcoholEtilicoOEtanol-5361614%20(1).pdf)

VII. APENDICE

APENDICE A

**Cantidad de azúcares reductores iniciales y finales de las variedades
bellaco, Inguiri e isla**

Tabla A

Resultado de los Volúmenes gastados antes y después de la hidrólisis enzimática.

| Variedades de Plátano | Muestra | % de Enzima | Vg (ml) Inicial | Vg(ml) Final | GL |
|-----------------------|---------|-------------|-----------------|--------------|-----|
| Patrón | 0 | 0% | 9.1 | 9.1 | |
| | 1 | 5% | 2.65 | 2.10 | 1.2 |
| Plátano Bellaco | 2 | 5% | 2.60 | 2.05 | 1.2 |
| | 3 | 5% | 2.62 | 2.08 | 1.2 |
| | 4 | 5% | 2.64 | 2.06 | 1.3 |
| | 5 | 5% | 2.62 | 2.06 | 1.3 |
| | 6 | 5% | 2.96 | 2.60 | 1.1 |
| Plátano Inguiri | 7 | 5% | 2.98 | 2.62 | 1.1 |
| | 8 | 5% | 2.96 | 2.62 | 1.1 |
| | 9 | 5% | 2.97 | 2.61 | 1.0 |
| | 10 | 5% | 2.98 | 2.63 | 1.0 |
| | 11 | 5% | 2.73 | 2.51 | 1.1 |
| Plátano de Isla | 12 | 5% | 2.76 | 2.53 | 1.2 |
| | 13 | 5% | 2.78 | 2.54 | 1.1 |
| | 14 | 5% | 2.75 | 2.52 | 1.2 |
| | 15 | 5% | 2.77 | 2.53 | 1.1 |

GL=Grados Gay Lussac

Vg=Volumen gastado

$$T = \frac{(Pg) \times (Vg)}{100 \text{ ml de la solución}}$$

T= Titulo: gramos de glucosa empleados para titular la solución de fehling

Pg= Peso de glucosa empleado para preparar la solución patrón, en gramos= 0.5

Vg= Volumen del patrón para titular la solución de fehling, en ml = 9.1ml Titulo antes de la hidrólisis enzimática

$$T = \frac{0.5 \times 9.1}{100} = 0.0455$$

Cantidad de azúcares reductores iniciales y finales

$$\text{Gramos de Glucosa /L} = \frac{1000 \times \text{Titulo}}{\text{Vgastado} \times \text{Valicuota}}$$

T= Titulo: gramos de glucosa empleados para titular la solución de fehling

$$T = \frac{(Pg) \times (Vg)}{100 \text{ ml de la solución}}$$

Vg= Volumen gastado en la titulación

Valícuota = Volumen de la alícuota

Cáscaras de plátano bellaco**Muestra 1**

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.65 \times 10} = 1.717 \text{ g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.1 \times 10} = 2.167 \text{ g/L}$$

Muestra 2

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.6 \times 10} = 1.750 \text{ g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.05 \times 10} = 2.220 \text{ g/L}$$

Muestra 3

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.62 \times 10} = 1.737 \text{ g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.08 \times 10} = 2.188 \text{ g/L}$$

Muestra 4

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.64 \times 10} = 1.723 \text{ g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.06 \times 10} = 2.209 \text{ g/L}$$

Muestra 5

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.62 \times 10} = 1.737 \text{ g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.06 \times 10} = 2.209 \text{ g/L}$$

Cáscaras de plátano inguiri**Muestra 1**

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.96 \times 10} = 1.537 \text{g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.60 \times 10} = 1.750 \text{g/L}$$

Muestra 2

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.98 \times 10} = 1.527 \text{g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.62 \times 10} = 1.737 \text{g/L}$$

Muestra 3

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.96 \times 10} = 1.537 \text{g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.62 \times 10} = 1.737 \text{g/L}$$

Muestra 4

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.97 \times 10} = 1.532 \text{g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.61 \times 10} = 1.743 \text{g/L}$$

Muestra 5

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.98 \times 10} = 1.527 \text{g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.63 \times 10} = 1.730 \text{g/L}$$

Cáscaras de plátano de isla**Muestra 1**

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.73 \times 10} = 1.667 \text{g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.51 \times 10} = 1.813 \text{g/L}$$

Muestra 2

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.76 \times 10} = 1.649 \text{g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.53 \times 10} = 1.798 \text{g/L}$$

Muestra 3

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.78 \times 10} = 1.637 \text{ g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.54 \times 10} = 1.791 \text{ g/L}$$

Muestra 4

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.75 \times 10} = 1.655 \text{ g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.52 \times 10} = 1.806 \text{ g/L}$$

Muestra 5

$$\text{A. R (iniciales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.77 \times 10} = 1.643 \text{ g/L}$$

$$\text{A. R (finales)} = \frac{1000 \times 0.0455}{2.53 \times 10} = 1.798 \text{ g/L}$$

APENDICE B

Cálculo del promedio de los azúcares reductores iniciales y finales de las variedades bellaco, Inguiri e isla

Cáscaras de plátano bellaco**Sin Enzima**

$$\begin{aligned} \text{Promedio de A. R iniciales} &= \frac{1.717 + 1.750 + 1.737 + 1.723 + 1.737}{5} \\ &= 1.733 \text{ g/L} \end{aligned}$$

Con 5% de enzima

$$\begin{aligned} \text{Promedio de A. R finales} &= \frac{2.167 + 2.220 + 2.188 + 2.209 + 2.209}{5} \\ &= 2.199 \text{ g/L} \end{aligned}$$

Cáscaras de plátano inguiri**Sin Enzima**

$$\begin{aligned} \text{Promedio de A. R. iniciales} &= \frac{1.537 + 1.527 + 1.537 + 1.532 + 1.527}{5} \\ &= 1.532 \text{ g/L} \end{aligned}$$

Con 5% de enzima

$$\begin{aligned} \text{Promedio A. R finales} &= \frac{1.750 + 1.737 + 1.737 + 1.743 + 1.730}{5} \\ &= 1.739 \text{ g/L} \end{aligned}$$

**Cáscaras de plátano de isla
Sin Enzima**

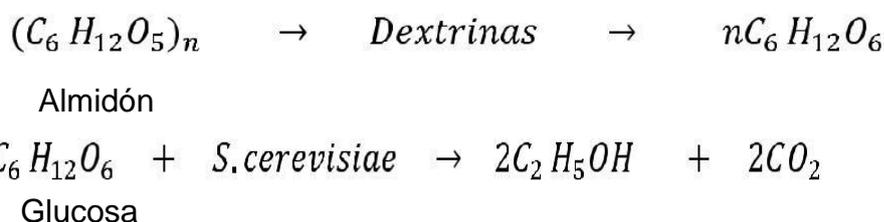
$$\begin{aligned} \text{Promedio A. R iniciales} &= \frac{1.667 + 1.649 + 1.637 + 1.655 + 1.643}{5} \\ &= 1.650 \text{ g/L} \end{aligned}$$

Con 5% de enzima

$$\begin{aligned} \text{Promedio A. R finales} &= \frac{1.813 + 1.798 + 1.791 + 1.806 + 1.798}{5} \\ &= 1.801 \text{ g/L} \end{aligned}$$

APENDICE C

**Cantidad de alcohol obtenido en la fermentación por variedades de cáscaras
de plátano bellaco, inguiri e isla**



Cáscaras de plátano bellaco

Volumen del Monto Fermentado: 66ml

Rendimiento en ml/10g

Muestra 1

$$R = \frac{66 \times 1.2}{100} = 0.792$$

Muestra 2

$$R = \frac{66 \times 1.2}{100} = 0.792$$

Muestra 3

$$R = \frac{66 \times 1.2}{100} = 0.792$$

Muestra 4

$$R = \frac{66 \times 1.3}{100} = 0.858$$

Muestra 5

$$R = \frac{66 \times 1.3}{100} = 0.858$$

Rendimiento en ml/g**Muestra 1**

$$R = \frac{66 \times 1.2}{100 \times 10} = 0.0792$$

Muestra 2

$$R = \frac{66 \times 1.2}{100 \times 10} = 0.0792$$

Muestra 3

$$R = \frac{66 \times 1.2}{100 \times 10} = 0.0792$$

Muestra 4

$$R = \frac{66 \times 1.3}{100 \times 10} = 0.0858$$

Muestra 5

$$R = \frac{66 \times 1.3}{100 \times 10} = 0.0858$$

Rendimiento en L/TM**Muestra 1**

$$R = \frac{66 \times 1.2}{100 \times 10} * 1000 = 79.2$$

Muestra 2

$$R = \frac{66 \times 1.2}{100 \times 10} * 1000 = 79.2$$

Muestra 3

$$R = \frac{66 \times 1.2}{100 \times 10} * 1000 = 79.2$$

Muestra 4

$$R = \frac{66 \times 1.3}{100 \times 10} * 1000 = 85.8$$

Muestra 5

$$R = \frac{66 \times 1.3}{100 \times 10} * 1000 = 85.8$$

Cáscaras de plátano inguiri

Volumen del Monto Fermentado: 62ml

Rendimiento en ml/10g**Muestra 1**

$$R = \frac{62 \times 1.1}{100} = 0.682$$

Muestra 2

$$R = \frac{62 \times 1.1}{100} = 0.682$$

Muestra 3

$$R = \frac{62 \times 1.1}{100} = 0.682$$

Muestra 4

$$R = \frac{62 \times 1.0}{100} = 0.620$$

Muestra 5

$$R = \frac{62 \times 1.0}{100} = 0.620$$

Rendimiento en ml/g**Muestra 1**

$$R = \frac{62 \times 1.1}{100 \times 10} = 0.0682$$

Muestra 2

$$R = \frac{62 \times 1.1}{100 \times 10} = 0.0682$$

Muestra 3

$$R = \frac{62 \times 1.1}{100 \times 10} = 0.0682$$

Muestra 4

$$R = \frac{62 \times 1.0}{100 \times 10} = 0.062$$

Muestra 5

$$R = \frac{62 \times 1.0}{100 \times 10} = 0.062$$

Rendimiento en L/TM**Muestra 1**

$$R = \frac{62 \times 1.1}{100 \times 10} * 1000 = 68.2$$

Muestra 2

$$R = \frac{62 \times 1.1}{100 \times 10} * 1000 = 68.2$$

Muestra 3

$$R = \frac{62 \times 1.1}{100 \times 10} * 1000 = 68.2$$

Muestra 4

$$R = \frac{62 \times 1.0}{100 \times 10} * 1000 = 62.0$$

Muestra 5

$$R = \frac{62 \times 1.0}{100 \times 10} * 1000 = 62.0$$

Cáscaras de plátano de isla

Volumen del Monto Fermentado: 64ml

Rendimiento en ml/10g**Muestra 1**

$$R = \frac{64 \times 1.1}{100} = 0.704$$

Muestra 2

$$R = \frac{64 \times 1.2}{100} = 0.768$$

Muestra 3

$$R = \frac{64 \times 1.1}{100} = 0.704$$

Muestra 4

$$R = \frac{64 \times 1.2}{100} = 0.768$$

Muestra 5

$$R = \frac{64 \times 1.1}{100} = 0.704$$

Rendimiento en ml/g**Muestra 1**

$$R = \frac{64 \times 1.1}{100 \times 10} = 0.0704$$

Muestra 2

$$R = \frac{64 \times 1.2}{100 \times 10} = 0.0768$$

Muestra 3

$$R = \frac{64 \times 1.1}{100 \times 10} = 0.0704$$

Muestra 4

$$R = \frac{64 \times 1.2}{100 \times 10} = 0.0768$$

Muestra 5

$$R = \frac{64 \times 1.1}{100 \times 10} = 0.0704$$

Rendimiento en L/TM**Muestra 1**

$$R = \frac{64 \times 1.1}{100 \times 10} * 1000 = 70.4$$

Muestra 2

$$R = \frac{64 \times 1.2}{100 \times 10} * 1000 = 76.8$$

Muestra 3

$$R = \frac{64 \times 1.1}{100 \times 10} * 1000 = 70.4$$

Muestra 4

$$R = \frac{64 \times 1.2}{100 \times 10} * 1000 = 76.8$$

Muestra 5

$$R = \frac{64 \times 1.1}{100 \times 10} * 1000 = 70.4$$

APENDICE D

**Cálculo del promedio del Rendimiento de etanol de las variedades bellaco,
Inguiri e isla**

Cáscaras de plátano bellaco

$$Promedio = \frac{79.2 + 79.2 + 79.2 + 85.8 + 85.8}{5} = 81.84 \text{ L/TM}$$

Cáscaras de plátano inguiri

$$Promedio = \frac{68.2 + 68.2 + 68.2 + 62.0 + 62.0}{5} = 65.72 \text{ L/TM}$$

Cáscaras de plátano de isla

$$Promedio = \frac{70.4 + 76.8 + 70.4 + 76.8 + 70.4}{5} = 72.96 \text{ L/TM}$$

APENDICE E

Análisis del % de humedad de las cáscaras de plátano de las variedades bellaco, Inguiri e isla

Cáscaras de plátano bellaco: Para poder calcular el % de humedad (w) presenta en las cáscaras de plátano bellaco, se determina de acuerdo al siguiente procedimiento:

Pesar 5g de muestra de plátano y colocarlo en la estufa a 104°C por un intervalo de tiempo de 2 horas. Se realiza el siguiente cálculo:

$w = (Mh - Ms) / (Ms - Mr) * 100$ (%), donde:

Mh = peso recipiente más la muestra húmeda (g)

Ms = peso recipiente más la muestra seca (g)

Mr = peso recipiente (g)

Se realizaron 5 análisis para sacar el % de humedad y el promedio de los 5 es el resultado final.

Muestra 01

Mh=35.92 g Ms=35.76 g Mr=30.92 g

$$w = \frac{(Mh - Ms)}{(Ms - Mr)} \times 100$$

$$w = \frac{(35.92 - 35.76)}{(35.76 - 30.92)} \times 100$$

$$w = 3.31\%$$

Muestra 02

Mh=38.76 g Ms=38.60 g Mr=33.76g

$$w = \frac{(Mh - Ms)}{(Ms - Mr)} \times 100$$

$$w = \frac{(38.76 - 38.60)}{(38.60 - 33.76)} \times 100$$

$$w = 3.31\%$$

Muestra 03

Mh=36.43 g Ms=36.26 g Mr=31.43g

$$w = \frac{(Mh - Ms)}{(Ms - Mr)} \times 100$$

$$w = \frac{(36.43 - 36.26)}{(36.26 - 31.43)} \times 100$$

$$w = 3.52\%$$

Muestra 04

$$M_h = 37.59 \text{ g} \quad M_s = 37.42 \text{ g} \quad M_r = 32.59 \text{ g}$$

$$w = \frac{(M_h - M_s)}{(M_s - M_r)} \times 100$$

$$w = \frac{(37.59 - 37.42)}{(37.42 - 32.59)} \times 100$$

$$w = 3.52\%$$

Muestra 05*

$$M_h = 36.11 \text{ g} \quad M_s = 35.95 \text{ g} \quad M_r = 31.11 \text{ g}$$

$$w = \frac{(M_h - M_s)}{(M_s - M_r)} \times 100$$

$$w = \frac{(36.11 - 35.95)}{(35.95 - 31.11)} \times 100$$

$$w = 3.31\%$$

Promedio de la Humedad:

$$\text{Promedio} = \frac{3.31 + 3.31 + 3.52 + 3.52 + 3.31}{5} = 3.39\%$$

% De Humedad de las cáscaras del plátano Bellaco = 3.39 %

Cáscaras de plátano inguri: Para poder calcular el % de humedad presenta en las cáscaras de plátano Inguiri, se determina de acuerdo al siguiente procedimiento:

Pesar 5g de muestra de plátano y colocarlo en la estufa a 104°C por un intervalo de tiempo de 2 horas. Se realiza el siguiente cálculo:

$w = (M_h - M_s) / (M_s - M_r) * 100$ (%), donde:

M_h = peso recipiente más la muestra húmeda (g)

M_s = peso recipiente más la muestra seca (g)

M_r = peso recipiente (g)

Se realizaron 5 análisis para sacar el % de humedad y el promedio de los 5 es el resultado final.

Muestra 01

$$M_h=35.00g \quad M_s=34.82g \quad M_r=30.00g$$

$$w = \frac{(M_h - M_s)}{(M_s - M_r)} \times 100$$

$$w = \frac{(35.00 - 34.82)}{(34.82 - 30.00)} \times 100$$

$$w = 3.73\%$$

Muestra 02

$$M_h=35.59g \quad M_s=35.42g \quad M_r=30.59g$$

$$w = \frac{(M_h - M_s)}{(M_s - M_r)} \times 100$$

$$w = \frac{(35.59 - 35.42)}{(35.42 - 30.59)} \times 100$$

$$w = 3.52\%$$

Muestra 03

$$M_h=34.23g \quad M_s=34.05g \quad M_r=29.23$$

$$w = \frac{(M_h - M_s)}{(M_s - M_r)} \times 100$$

$$w = \frac{(34.23 - 34.05)}{(34.05 - 29.23)} \times 100$$

$$w = 3.73\%$$

Muestra 04

$$M_h=36.27g \quad M_s=36.08g \quad M_r=31.27$$

$$w = \frac{(M_h - M_s)}{(M_s - M_r)} \times 100$$

$$w = \frac{(36.27 - 36.08)}{(36.08 - 31.27)} \times 100$$

$$w = 3.95\%$$

Muestra 05

$$M_h=35.94g \quad M_s=35.77g \quad M_r=30.94$$

$$w = \frac{(M_h - M_s)}{(M_s - M_r)} \times 100$$

$$w = \frac{(35.94 - 35.77)}{(35.77 - 30.94)} \times 100$$

$$w = 3.52\%$$

Promedio de la Humedad:

$$\text{Promedio} = \frac{3.73 + 3.52 + 3.73 + 3.95 + 3.52}{5} = 3.69 \%$$

% De Humedad de las cáscaras del plátano Inguiri = 3.69 %

Cáscaras de plátano de isla: Para poder calcular el % de humedad presenta en las cáscaras de plátano de isla, se determina de acuerdo al siguiente procedimiento:

Pesar 5g de muestra de plátano y colocarlo en la estufa a 104°C por un intervalo de tiempo de 2 horas. Se realiza el siguiente cálculo:

$w = (Mh - Ms) / (Ms - Mr) * 100 (\%)$, donde:

Mh = peso recipiente más la muestra húmeda (g)

Ms = peso recipiente más la muestra seca (g)

Mr = peso recipiente (g)

Se realizaron 5 análisis para sacar el % de humedad y el promedio de los 5 es el resultado final.

Muestra 01

Mh=39.53g Ms=39.37g Mr=34.53

$$w = \frac{(Mh - Ms)}{(Ms - Mr)} \times 100$$

$$w = \frac{(39.53 - 39.37)}{(39.37 - 34.53)} \times 100$$

$$w = 3.31\%$$

Muestra 02

Mh=39.41g Ms=39.24g Mr=34.41

$$w = \frac{(Mh - Ms)}{(Ms - Mr)} \times 100$$

$$w = \frac{(39.41 - 39.24)}{(39.24 - 34.41)} \times 100$$

$$w = 3.52\%$$

Muestra 03

Mh=41.97g Ms=41.82g Mr=36.97

$$w = \frac{(Mh - Ms)}{(Ms - Mr)} \times 100$$

$$w = \frac{(41.97 - 41.82)}{(41.82 - 36.97)} \times 100$$

$$w = 3.09\%$$

Muestra 04

$$M_h = 38.12g \quad M_s = 37.97g \quad M_r = 33.12$$

$$w = \frac{(M_h - M_s)}{(M_s - M_r)} \times 100$$

$$w = \frac{(38.12 - 37.97)}{(37.97 - 33.12)} \times 100$$

$$w = 3.09\%$$

Muestra 05

$$M_h = 34.26g \quad M_s = 34.11g \quad M_r = 29.26$$

$$w = \frac{(M_h - M_s)}{(M_s - M_r)} \times 100$$

$$w = \frac{(34.26 - 34.10)}{(34.10 - 29.26)} \times 100$$

$$w = 3.31\%$$

Promedio de la Humedad:

$$Promedio = \frac{3.31 + 3.52 + 3.09 + 3.09 + 3.31}{5} = 3.26 \%$$

% De Humedad de las cáscaras del plátano de isla = 3.26 %

APENDICE F

Análisis del % de cenizas de las cáscaras de plátano de las variedades bellaco, Inguiri e isla

Cáscaras de plátano bellaco: Para poder calcular el % de cenizas presente en las cáscaras de plátano bellaco primero se pesa las muestras en 5 crisoles para evaluar se calcinan en una cocina después que ya están calcinadas se colocan con una pinza en la mufla a 550°C por un intervalo de 24 horas después se retiran las muestras y se colocan en el desecador para dejar enfriar y el promedio de los 5 es el resultado final.

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

Dónde:

W_i =Peso de la crisol vacío.

W_0 =Peso de las cáscaras de plátano analizar.

W_f = Peso de las cáscaras de plátano salidas de la mufla a 55°C +Peso del crisol vacío.

Muestra 01

$W_i=31.32$ g $W_0=5.00$ g $W_f=31.35$ g

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{31.35 - 31.32}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.03}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.006 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.6 \%$$

Muestra 02

$W_i=31.11$ g $W_0=5.00$ g $W_f=31.13$ g

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{31.13 - 31.11}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.02}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.004 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.4\%$$

Muestra 03

$W_i=22.91$ g $W_0=5.00$ g $W_f=22.93$ g

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{22.93 - 22.91}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.02}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.004 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.4\%$$

Muestra 04

$$W_i=31.82 \text{ g} \quad W_0=5.00 \text{ g} \quad W_f=31.85 \text{ g}$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{31.85 - 31.82}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.03}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.006 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.6\%$$

Muestra 05

$$W_i=30.88 \text{ g} \quad W_0=5.00 \text{ g} \quad W_f=30.90 \text{ g}$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{30.90 - 30.88}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.02}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.004 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.4\%$$

Promedio del % de Cenizas:

$$Promedio = \frac{0.6 + 0.4 + 0.4 + 0.6 + 0.4}{5} = 0.48\%$$

Promedio del % de cenizas de las cáscaras de plátano bellaco = 0.48 %

% De Cenizas de la cáscaras del plátano bellaco = 0.48%

Cáscaras de plátano inguiri: Para poder calcular el % de cenizas presente en las cáscaras de plátano inguiri primero se pesa las muestras en 3 crisoles para evaluar se calcinan en una cocina después que ya están calcinadas se colocan con una pinza en la mufla a 550°C por un intervalo de 24 horas después se retiran las muestras y se colocan en el desecador para dejar enfriar y el promedio de los 3 es el resultado final.

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

Dónde:

W_i =Peso de la crisol vacío.

W_0 =Peso de las cáscaras de plátano analizar.

W_f = Peso de las cáscaras de plátano salidas de la mufla a 55°C +Peso del crisol vacío.

Muestra 01

$W_i=31.22$ g $W_0=5.00$ g $W_f=31.23$ g

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{31.23 - 31.22}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.01}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.002 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.2\%$$

Muestra 02

$W_i=31.02$ g $W_0=5.00$ g $W_f=31.04$ g

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{31.04 - 31.02}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.02}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.004 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.4\%$$

Muestra 03

$W_i=22.81$ g $W_0=5.00$ g $W_f=22.83$ g

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{22.83 - 22.81}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.02}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.004 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.4\%$$

Muestra 04

$$W_i=33.05\text{g} \quad W_0=5.00\text{ g} \quad W_f=33.07\text{ g}$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{33.07 - 33.05}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.02}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.004 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.4\%$$

Muestra 05

$$W_i=32.59\text{g} \quad W_0=5.00\text{ g} \quad W_f=32.60\text{ g}$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{32.6 - 32.59}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.01}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.002 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.2\%$$

Promedio del % de Cenizas:

$$Promedio = \frac{0.2 + 0.4 + 0.4 + 0.4 + 0.2}{5} = 0.32\%$$

Promedio de las cáscaras del % de cenizas = 0.32 %

% De Cenizas de las cáscaras del plátano inguiri = 0.32 %

Cáscaras de plátano de isla: Para poder calcular el % de cenizas presente en las cáscaras de plátano de isla primero se pesa las muestras en 3 crisoles para evaluar se calcinan en una cocina después que ya están calcinadas se colocan con una pinza en la mufla a 550°C por un intervalo de 24 horas después se retiran las muestras y se colocan en el desecador para dejar enfriar y el promedio de los 3 es el resultado final.

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

Dónde:

W_i =Peso de la crisol vacío.

W_0 =Peso de las cáscaras de plátano analizar.

W_f = Peso de las cáscaras de plátano salidas de la mufla a 55°C +Peso del crisol vacío.

Muestra 01

$W_i=31.06$ g $W_0=5.00$ g $W_f=31.08$ g

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{31.08 - 31.06}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.02}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.004 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.4\%$$

Muestra 02

$W_i=30.86$ g $W_0=5.00$ g $W_f=30.87$ g

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{30.87 - 30.86}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.01}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.002 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.2\%$$

Muestra 03

$W_i=22.67$ g $W_0=5.00$ g $W_f=22.69$ g

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{22.69 - 22.67}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.02}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.004 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.4 \%$$

Muestra 04

$$W_i=29.92 \text{ g} \quad W_0=5.00 \text{ g} \quad W_f=29.95 \text{ g}$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{29.95 - 29.92}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.03}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.006 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.6 \%$$

Muestra 05

$$W_i=30.83 \text{ g} \quad W_0=5.00 \text{ g} \quad W_f=30.85 \text{ g}$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{W_f - W_i}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{30.85 - 30.83}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = \frac{0.02}{5.00} \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.004 \times 100$$

$$\% \text{ De Cenizas} = 0.4 \%$$

Promedio del % de Cenizas:

$$Promedio = \frac{0.4 + 0.2 + 0.4 + 0.6 + 0.4}{5} = 0.40\%$$

$$\% \text{ De Cenizas del plátano de isla} = 0.40 \%$$

$$\% \text{ De Cenizas de las cáscaras del plátano de isla} = 0.40\%$$

APENDICE G

**Análisis del % de celulosa de las cáscaras de plátano de las variedades
bellaco, Inguiri e isla**

Cáscaras de plátano bellaco**Dónde:**

Ps = Peso del papel solo y seco (g)

Po = Peso seco de la muestra de cáscaras de plátano (g)

$$\% \text{ celulosa} = (P_o - P_s) * 100$$

Muestra 01

$$P_s = 1.08 \text{ g} \quad P_o = 1.55 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ celulosa} &= (P_o - P_s) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= (1.55 - 1.08) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= (0.470) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= 47.0\% \end{aligned}$$

Muestra 02

$$P_s = 1.04 \text{ g} \quad P_o = 1.51 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ celulosa} &= (P_o - P_s) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= (1.51 - 1.04) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= (0.470) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= 47.0\% \end{aligned}$$

Muestra 03

$$P_s = 1.07 \text{ g} \quad P_o = 1.53 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ celulosa} &= (P_o - P_s) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= (1.53 - 1.07) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= (0.46) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= 46.0\% \end{aligned}$$

Muestra 04

$$P_s = 1.05 \text{ g} \quad P_o = 1.51 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ celulosa} &= (P_o - P_s) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= (1.51 - 1.05) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= (0.46) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= 46.0\% \end{aligned}$$

Muestra 05

$$P_s = 1.03 \text{ g} \quad P_o = 1.5 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ celulosa} &= (P_o - P_s) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= (1.5 - 1.03) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= (0.47) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= 47.0\% \end{aligned}$$

Promedio del % de Celulosa:

$$Promedio = \frac{47 + 47 + 46 + 46 + 47}{5} = 46.6\%$$

% promedio de celulosa de las C. platano bellaco = 46.6%

Cáscaras de plátano inguiri:**Donde**

Ps = Peso del papel solo y seco (g)

Po = Peso seco de la muestra de cáscaras de plátano (g)

$$\% \text{ celulosa} = (Po - Ps) * 100$$

Muestra 01

Ps = 0.48 g Po = 0.92 g

$$\% \text{ celulosa} = (Po - Ps) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.92 - 0.48) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.44) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = 44.00\%$$

Muestra 02

Ps = 0.49 g Po = 0.94 g

$$\% \text{ celulosa} = (Po - Ps) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.94 - 0.49) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.45) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = 45.00\%$$

Muestra 03

Ps = 0.51g Po = 0.95 g

$$\% \text{ celulosa} = (Po - Ps) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.95 - 0.51) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.44) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = 44.00\%$$

Muestra 04

Ps = 0.53g Po = 0.97 g

$$\% \text{ celulosa} = (Po - Ps) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.97 - 0.53) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.44) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = 44.00\%$$

$$\% \text{ celulosa} = 44.00\%$$

Muestra 05

Ps = 0.54g Po = 0.99 g

$$\% \text{ celulosa} = (Po - Ps) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.99 - 0.54) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.45) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = 45.00\%$$

Promedio del % de Celulosa:

$$Promedio = \frac{44 + 45 + 44 + 44 + 45}{5} = 44.4\%$$

$$\%promedio \text{ de celulosa de platano Inguiri} = 44.4\%$$

Cáscaras de plátano de isla:**Donde**

Ps = Peso del papel solo y seco (g)

Po = Peso seco de la muestra de cáscaras de plátano (g)

$$\% \text{ celulosa} = (Po - Ps) * 100$$

Muestra 01

Ps = 0.54 g Po = 0.97 g

$$\% \text{ celulosa} = (Po - Ps) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.97 - 0.54) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.43) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = 43.00\%$$

Muestra 02

Ps = 0.52 g Po = 0.96 g

$$\% \text{ celulosa} = (Po - Ps) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.96 - 0.52) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.44) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = 44.00\%$$

Muestra 03

Ps = 0.52 g Po = 0.95 g

$$\% \text{ celulosa} = (Po - Ps) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.95 - 0.52) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.43) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = 43.00\%$$

Muestra 04

Ps = 0.53 g Po = 0.98 g

$$\% \text{ celulosa} = (Po - Ps) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.98 - 0.53) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = (0.45) * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = 45.00\%$$

Muestra 05

$$P_s = 0.55 \text{ g} \quad P_o = 0.99 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ celulosa} &= (P_o - P_s) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= (0.99 - 0.55) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= (0.44) * 100 \\ \% \text{ celulosa} &= 44.00\% \end{aligned}$$

Promedio del % de Celulosa:

$$Promedio = \frac{43 + 44 + 43 + 45 + 44}{5} = 43.8\%$$

%promedio de celulosa de la cáscaras de plátano de Isla = 43.8%

APENDICE H**Concentración de las disoluciones A y B Para el Aspergillus Níger****1.-g/L**

$$1.25 \text{ g/L} \longrightarrow 1.25 \times 10^3 \text{ g/L}$$

$$1.26 \text{ g/L} \longrightarrow 1.26 \times 10^3 \text{ g/L}$$

2.- (%V/V)

$$\% \text{ Volumen} = \frac{\text{Volumen del Solute (ml)}}{\text{Volumen de la Disolucion(ml)}} \times 100$$

Volumen Disolución A

$$\% \text{ V/V} = \frac{315 - 300}{315} \times 100$$

$$\% \text{ V/V} = \frac{15}{315} \times 100 = 4.7\%$$

$$\% \text{ V/V} = \frac{15}{300} \times 100 = 5\%$$

$$\% \frac{V}{V} = 4.7\%$$

Volumen Disolución B

$$\% \text{ V/V} = \frac{15}{300} \times 100$$

$$\% \text{ V/V} = 5\%$$

ANEXOS

ANEXO N°01

Preparación de Soluciones de Trabajo

1.1- Solución de Ácido Sulfúrico al 5% (p/p)

- 5.10 ml de H_2SO_4 al 98 % de su concentración
- 94.89 ml de Agua destilada

1.2.-Solución de Glucosa al 0.5% (p/v)

- Pesar 0.5 g de glucosa anhidra.
- Disolver en agua destilada hasta completar un volumen de 100 ml.

1.3.-Solución de Fehling A

- Pesar 163 gr de tartrato de sodio y potasio.
- Disolver en 200 ml de agua destilada.
- Aparte disolver 60 gr de NaOH en 500 ml de agua destilada.
- Mezclar ambas soluciones y completar a 1000 ml.
- Guardar por separado y rotular.

1.4.- Solución de Fehling B

- Disolver 35 gr de sulfato de cobre en 500 ml de agua destilada.
- Añadir 2 ml de ácido sulfúrico.
- Guardar.

1.5.-Solución indicadora de Azul de Metileno al 1%

- Pesar 1 gr de azul de metileno.
- Disolver en agua destilada hasta completar un volumen de 100 ml.

ANEXO 02

Fotos de la Parte Experimental

Secado



Muestras en el desecador para protegerlas de la humedad



Muestras fueron tratadas % humedad



Fueron tratadas en la cocina y después a la estufa por 2 horas a 105°C % De Cenizas



Muestras en la Mufla a 550°C



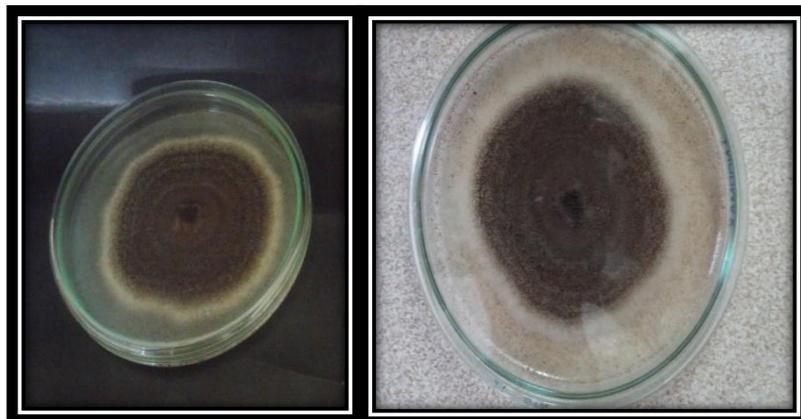
Después de 24 horas en la mufla



Aislamiento del *Aspergillus niger* (7 días)



Colonia de *Aspergillus niger* en medio Agar Papa Dextrosa (PDA)



Aspergillus niger al 5 % de solución lista para la hidrólisis enzimática



Agitación de 300 RPM con 5 horas a 125°C



Hidrólisis Enzimática



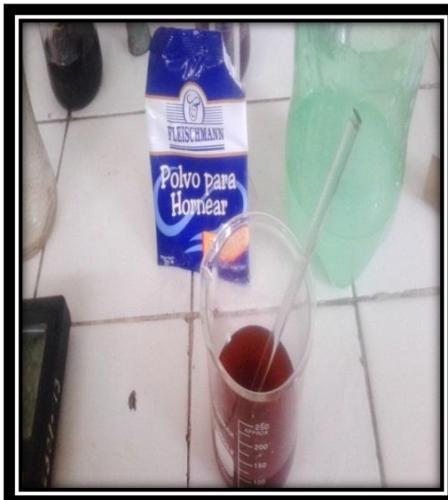
Tomando pH a las muestras en el proceso de hidrólisis



Proceso de filtración antes de la fermentación



Preparación de la levadura *saccharomyces cerevisiae*



Proceso de Fermentación



Pruebas de azúcares reductores

