



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS**



Tema:

**“ESTUDIO DEL EFECTO DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA EN LA
OBTENCIÓN DE UN JARABE DE GLUCOSA Y FRUCTOSA A PARTIR
DEL PLÁTANO MADURO (*Musa paradisiaca*)”**

**Trabajo de Titulación, modalidad Experiencias Prácticas de Investigación y/o
Intervención, previa la obtención del Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado
por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e
Ingeniería en Alimentos**

AUTORA: ANA BELÉN CHILUISA

TUTORA: ING. MG. CECILIA CARPIO

AMBATO – ECUADOR

2015

APROBACIÓN DE LA TUTORA

En mi calidad de Tutora del Trabajo de Titulación con el Tema: “**ESTUDIO DEL EFECTO DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA EN LA OBTENCIÓN DE UN JARABE DE GLUCOSA Y FRUCTOSA A PARTIR DEL PLÁTANO MADURO (*Musa paradisiaca*)**”, bajo la Modalidad de Experiencias Prácticas de Investigación y/o Intervención realizado por la Señorita CHILUISA MORENO ANA BELÉN: considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación de la Comisión Calificadora designada por el H. Consejo Directivo de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Ambato, Diciembre del 2015

.....

Ing. Mg. Cecilia Carpio

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los criterios emitidos en el Trabajo de Titulación con el Tema: “**ESTUDIO DEL EFECTO DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA EN LA OBTENCIÓN DE UN JARABE DE GLUCOSA Y FRUCTOSA A PARTIR DEL PLÁTANO MADURO (*Musa paradisiaca*)**”, como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora de este Trabajo de Titulación.

Ambato, Diciembre del 2015

.....

Ana Belén Chiluisa Moreno

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Trabajo de Graduación de acuerdo a las disposiciones emitidas por la Universidad Técnica de Ambato

Ambato, Diciembre del 2015

Para constancia firman:

.....

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen del Cisne por llenarme de bendiciones en todo momento y darme sabiduría, fortaleza y paciencia para culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mis padres, Franklin y Ana por brindarme su apoyo incondicional y ayudarme con su paciencia a luchar todos los días por ser mejor persona.

A Fernanda, Cheo, Valeria por ser las hermanas y amigas que me apoyan siempre en cada paso que doy y por contagiarme todos los días de alegría, entusiasmo y felicidad.

A Eduardo mi hermano quien con su apoyo ha logrado que yo continúe en esta lucha y culmine una etapa más en mi vida.

A Carlitos y Josué mis sobrinos quienes con sus travesuras y risas angelicales me han llenado la vida de amor y de felicidad son mis pequeños bebes que me enseñaron no solo a ser tía sino a ser una madre.

A Edgar por ayudarme en todo momento con sus consejos y demostrarme que con esfuerzo se puede lograr muchas cosas.

Belén

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato, en especial a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, por brindar una educación de calidad y fomentar la preparación tanto personal como profesional.

A los docentes de la FCIAL por impartir sus valiosos conocimientos y compartir cada una de sus experiencias.

Al Instituto Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en especial a la Ing. Elena Villacrés gracias por brindarme su confianza, su amistad y su apoyo incondicional en la realización y culminación de este Trabajo de Titulación.

A la Ing. Cecilia Carpio, Tutora del Trabajo de Titulación, gracias por su valiosa asesoría, por su paciencia y los conocimientos compartidos, tiempo y por todo el apoyo recibido.

Al Ing. Javier, a la Ing. María Belén, a la Señora Martha, Señora Sonia y Javier G. quienes me ayudaron en la parte experimental y me brindaron su cariño y amistad muchas gracias.

A mis amigos y amigas por compartir grandes e inolvidables momentos.

ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA

<i>Abstract</i>	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
EL PROBLEMA	2
1.1 Tema de Investigación	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 General.....	3
1.3.2 Específicos	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes Investigativos.....	4
2.2 Hipótesis.....	5
2.3 Señalamiento de Variables de la hipótesis	6
2.3.1 Variable Independiente.....	6
2.3.2 Variable Dependiente	6
CAPÍTULO III	7
METODOLOGÍA	7
3.1 Materiales	7
3.1.1 Materiales, equipos y reactivos utilizados para la obtención del jarabe de glucosa y fructosa	7
3.2 Métodos.....	7
3.2.1 Descripción del proceso para la obtención del jarabe de glucosa y fructosa a partir de plátano de desecho (<i>Musa paradisiaca</i>).	7
3.2.2 Métodos de evaluación	10

3.3 Diseño experimental.....	11
CAPÍTULO IV	13
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	13
4.1. Análisis Físico-Químicos	13
4.1.1. Análisis Proximal de la materia prima	13
4.1.2. Porcentaje de Sólidos Solubles °Brix	13
4.1.2.1 Jugo de Plátano	13
4.1.2.2 Etapa de licuefacción	14
4.1.2.3 Etapa de sacarificación	15
4.1.3 Contenido de almidón	16
4.1.4 Azúcares reductores	16
4.1.5 Contenido de Glucosa (mg/ml)	17
4.1.6 Contenido de Fructosa.....	17
4.1.6 Rendimientos volumétricos en el proceso de concentración del jugo en jarabe.	18
4.1.7 Valores finales de pH y °Brix de los jarabes de plátano	19
4.1.8 Viscosidad Aparente.....	20
4.1.9 Análisis de Color	20
4.1.9 Análisis Sensorial	22
4.2 Verificación de la hipótesis	23
CAPÍTULO V.....	24
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	24
5.1 Conclusiones	24
5.2 Recomendaciones.....	25
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
ANEXOS	30

Tabla 1. Descripción de los tratamientos de acuerdo al diseño, factores y niveles.....	12
Tabla 2. “Descripción de los tratamientos”.....	12
Tabla 3, “Caracterización del plátano maduro (Musa paradisiaca)”	13
Tabla 4, “Sólidos Solubles °Brix y pH de cada tratamiento”	14
Tabla 5, “Contenido de almidón en los tratamientos”	16
Tabla 6, “Determinación de Azúcares reductores para cada tratamiento”	17
Tabla 7, “Determinación de Glucosa para cada tratamiento”	17
Tabla 8. “Contenido de fructosa en cada tratamiento”	18
Tabla 9, “Rendimiento promedio en el proceso de concentración del jugo de plátano”	18
Tabla 10, “Valores de pH y °Brix finales de los jarabes de plátano”	20
Tabla 11, “Valores de viscosidad aparente del jarabe de plátano a 70 rpm”	20
Tabla 12, “Datos de color en el jarabe de plátano”	22
Tabla 13, “Datos del análisis sensorial de jarabe de plátano”	23

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS
ESTUDIO DEL EFECTO DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA EN LA
OBTENCIÓN DE UN JARABE DE GLUCOSA Y FRUCTOSA A PARTIR
DEL PLÁTANO MADURO (*Musa Paradisiaca*)

Autora: Ana Belén Chiluisa Moreno

Tutora: Ing. Mg. Cecilia Carpio

Fecha: Diciembre 2015

Abstract

The effect of some factors such as the relation fruit: water (A), concentration of alpha - amylase (B) and concentration of amyloglucosidase (C) on the production of glucose and fructose syrups from mature waste banana (*Musa paradisiaca*) by the enzymatic hydrolysis of the starch were studied. By applying a 2ⁿ factorial design and a confidence level of 95 % , it was determined that all the analyzed factors have a significant influence on the content of soluble solids (°Brix), volumetric yield of the concentrated syrup, viscosity, color, reducing sugars, glucose and fructose content of the product. The best treatment was the one that corresponds to the relation fruit:water 1:2, 0,6 g/L of alpha - amylase and 0,02 g/L of amyloglucosidase. The product without concentration had 88,25 mg/mL of reducing sugars, 18,9 mg/mL of glucose, 14,76 mg/mL of fructose, its volumetric yield was 10 %, and it has an apparent viscosity of 562,5 centipoises (10^{-3} Pa·s). The soluble solids in the final product (after concentration) were 74 °Brix and the pH value of 4,4. For the sensorial evaluation an incomplete block design with 54 semi-trained tasters was used. An hedonic scale with 5 points was applied by means of a tasting sheet. The statistical analysis showed that all the assessed factors do not significantly influence on the appraisal of the attributes perceived by the tasters, particularly the attribute acceptability.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS
ESTUDIO DEL EFECTO DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA EN LA
OBTENCIÓN DE UN JARABE DE GLUCOSA Y FRUCTOSA A PARTIR
DEL PLÁTANO MADURO (*Musa Paradisiaca*)

Autora: Ana Belén Chiluisa Moreno

Tutora: Ing. Mg. Cecilia Carpio

Fecha: Diciembre 2015

Resumen

Se estudió el efecto de factores tales como la relación fruta: agua, concentración de enzima alfa-amilasa y concentración de enzima amiloglucosidasa en la obtención del jarabe de glucosa y fructosa a partir de plátano maduro de desecho (*Musa paradisiaca*) mediante la hidrólisis enzimática del almidón. Aplicando un diseño factorial 2ⁿ y con un 95% de confianza, se pudo determinar que todos los factores analizados, influyen significativamente sobre el contenido de sólidos solubles (°Brix), rendimiento, viscosidad, color, azúcares reductores, contenido de glucosa y fructosa. El mejor tratamiento fue: el que correspondía a la relación 1:2 fruta: agua, 0,6 g/L de alfa-amilasa y 0,02 g/L de amiloglucosidasa. El contenido de azúcares reductores en el producto sin concentrar fue de 88,25 mg/ml, el contenido de glucosa de 18,9 mg/ml, el contenido de fructosa de 14,76 mg/ml, el rendimiento volumétrico de 10 %, la viscosidad aparente de 562,5 centipoises (10^{-3} Pa·s), los sólidos solubles finales fueron de 74 °Brix y un valor de pH de 4,4. Para la evaluación sensorial se utilizó un diseño de bloques incompletos con 54 catadores semientrenados mediante el empleo de una hoja de catación con una escala hedónica de 5 puntos. El análisis estadístico señaló que los factores A (relación fruta: agua), B (concentración de alfa-amilasa) y C (concentración de amiloglucosidasa) no influyen significativamente en la apreciación de los atributos percibidos por los catadores, particularmente del atributo aceptabilidad.

Palabras clave: plátano maduro de desecho, enzimas: alfa-amilasa, amiloglucosidasa, hidrólisis enzimática, jarabe

INTRODUCCIÓN

La actividad del banano en el Ecuador tiene un peso importante en el desarrollo del país, tanto desde el punto de vista económico como social. Del plátano se pueden extraer subproductos ricos en azúcares y proteínas. El plátano maduro (*Musa Paradisiaca*) es una fruta que se produce en el Ecuador y una parte de su producción está siendo desechada (Coello & Linares, 2009). El porcentaje de la fruta desechada depende de operaciones de cultivos, cuidados de la cosecha y exigencias del mercado. Este porcentaje puede variar entre un 5 y 10 % del total de fruta procesada (Soto, 1992), siendo alrededor de 510453.439 toneladas anuales (Asociación de exportadores, 2010).

Para reducir este problema se ha desarrollado el presente estudio que forma parte del Proyecto de Seguridad Alimentaria desarrollado por el Departamento de Nutrición y Calidad del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Santa Catalina, el cual consiste en la utilización del plátano maduro de desecho (*Musa paradisiaca*) para la conversión de su pulpa en jarabe por medio enzimático y aprovechar tanto sus características químicas como las nutricionales, de esta manera, se buscan nuevas alternativas para aportar con el desarrollo tecnológico del país especialmente en el sector agroindustrial.

La producción enzimática de jarabes de fructosa conlleva la hidrólisis del almidón en dextrinas en un proceso denominada licuefacción y la hidrólisis de estos compuestos en unidades de glucosa en la sacarificación (Crabb & Mitchinson, 1997).

Entre las enzimas que se usan para la hidrólisis del almidón se tienen la alfa-amilasa que hidroliza los enlaces glucosídicos α -1,4, el ataque se hace de forma no selectiva tipo endógeno sobre varios puntos de la cadena simultáneamente, generando polímeros de 3 o más unidades de glucosa (Badui, 2006). La amiloglucosidasa hidroliza los enlaces glucosídicos α -1,4 y α -1,6 de la amilosa y la amilopectina (Carrera, 2002).

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema de Investigación

“ESTUDIO DEL EFECTO DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA EN LA OBTENCIÓN DE UN JARABE DE GLUCOSA Y FRUCTOSA A PARTIR DEL PLÁTANO MADURO (*Musa paradisiaca*).”

1.2 Justificación

El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) mediante un enfoque hacia la producción de alimentos alternativos busca industrializar el plátano maduro de desecho ya que esta fruta al ser climatérica sigue su proceso de respiración y maduración después de la cosecha, siendo necesaria una rápida comercialización ya que al continuar con su proceso de maduración el fruto presenta características sensoriales poco agradables para el consumidor lo cual obliga al comerciante a destinar el producto para alimentación animal o a su vez desecharlo, por tanto este trabajo es de interés nacional ya que pretende darle un valor agregado al plátano maduro de desecho mediante la obtención de un jarabe de glucosa y fructosa por medio del empleo de enzimas.

La hidrólisis enzimática es importante en la industria alimentaria por los efectos fisicoquímicos u organolépticos que produce, este proceso, llevado a cabo por enzimas, tiene por objeto la transformación de las materias primas amiláceas en azúcares; entre las enzimas que se usan para la hidrólisis se tiene la alfa-amilasa que hidroliza los enlaces glucosídicos α -1,4 y la amiloglucosidasa, que hidroliza los enlaces glucosídicos α -1,4 y α -1,6 de la amilosa y la amilopectina (Carrera, 2002).

La enzima invertasa provoca la inversión de la sacarosa para producir glucosa y fructosa, aumentando la solubilidad de la solución. La fructosa, es un compuesto natural extensamente distribuido en la naturaleza, la producción de jarabe de fructosa, está basada en una conversión enzimática del almidón a jarabe fructosado. Este proceso involucra el uso de amiloglucosidasa para sacarificar y glucosa isomerasa para catalizar la isomerización de glucosa a fructosa (Crabb & Mitchinson, 1997).

Los jarabes de glucosa y fructosa se usan de acuerdo a sus diversas concentraciones en varias industrias tales como: panadería, confitería, procesado de frutas, alimentos compuestos, bebidas alcohólicas, bebidas frías (Shenck-Hebeda, 2009). Por lo que este estudio servirá para que sectores agroindustriales del país puedan industrializar el plátano de desecho y así contribuir al desarrollo de nuevos productos.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

- ✓ Estudiar el efecto de la hidrólisis enzimática en la obtención de un jarabe de glucosa y fructosa a partir del plátano maduro (*Musa paradisiaca*)

1.3.2 Específicos

- ✓ Establecer las condiciones óptimas de la relación fruta – agua, y concentración de enzimas, para la hidrólisis enzimática del plátano maduro (*Musa paradisiaca*).
- ✓ Determinar las propiedades físico-químicas del jarabe de plátano maduro (*Musa paradisiaca*).
- ✓ Determinar la aceptabilidad del producto obtenido en base a los atributos evaluados durante el análisis sensorial.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos

El plátano se produce en más de 130 países, de la producción mundial de las musáceas alimenticias el 40% corresponde a cultivos de plátano, siendo los principales productores, los países de África central y oriental, islas del Caribe y los países de América Latina (Lassois et al., 2009). En Latinoamérica se produce el 23 % de la oferta mundial de fruto de plátano, los principales productores son Ecuador y Colombia. (Espinel et al., 2005).

Ecuador es considerado el primer exportador y cuarto productor de banano del mundo, debido a que produce aproximadamente 8'278.260,25 toneladas de musáceas cultivadas en 20 provincias del territorio continental. Un 3,50 % se destina al consumo humano interno; otro 3,50 % al consumo animal; el 3 % se destina para la industria. La producción de Musáceas, se destina básicamente a la exportación. El promedio anual que se vende al exterior es de 80 % del total de la producción, y se somete a un control de calidad intensivo, para que llegue a su destino en el estado de madurez adecuado y libre de manchas, suciedad o cicatrices; sin embargo, hay un 10% de la producción, que generalmente son acumulados a la intemperie, causando problemas por su inadecuado manejo, ya que genera residuos y gases (Afanador, 2005).

A partir del plátano se pueden obtener diversos productos como alcohol, jugos, mermeladas, jaleas, polvo, harina, puré, almidón y otros por deshidratación osmótica para las industrias de productos lácteos, confites y cereales (Thompson, 2005).

El plátano es uno de los productos de la dieta alimentaria de los países en desarrollo, ya que, junto con las raíces y los tubérculos, aporta el 40% del total de la oferta de alimentos en términos de calorías. Según la FAO, este producto no solo puede contribuir a la seguridad alimentaria de los países en desarrollo sino que, además, es una fuente generadora de ingresos y de empleo; por lo tanto, mejora el nivel de vida de los agricultores (FAO, 2007).

(Cardona & Duque 2015), reportaron que la ventaja de obtener glucosa y fructosa radica en su aplicabilidad y la posibilidad de adecuarse al mercado de una forma rápida, debido a que se pueden utilizar en la industria como endulzantes.

Hernández, et al. (2008), reportaron algunas propiedades fisicoquímicas del jarabe de fructosa (JF) obtenido a partir del almidón de plátano (*Musa paradisiaca L.*). El JF se obtuvo mediante dos reacciones secuenciales, catalizadas por enzimas que transformaron el almidón a glucosa y, finalmente, la glucosa a jarabe de fructosa mediante isomerización. En la isomerización lograron una conversión media de 41,3 % a las 80 h de proceso. El color medido en unidades de densidad óptica, fue de 1,78. La viscosidad del producto fue baja en comparación con los jarabes comerciales.

(Bermúdez & Casquete 2008), señalan que la determinación del tiempo de hidrólisis se realiza tomando la lectura de grados Brix con el refractómetro, y que al incrementar la cantidad de sustrato en la reacción, manteniéndose constante la cantidad de enzima, la cantidad de producto obtenido es mayor hasta que los centros activos de las enzimas estén saturados. La enzima puede ser utilizada para varias reacciones de hidrólisis, siempre y cuando se evite la desnaturalización por agentes internos o externos al proceso.

Narvaez (2012), indica que el jarabe tradicionalmente es una bebida compuesta de azúcar cocida en agua a la que se añaden zumos refrescantes o sustancias medicinales. Las expectativas que genera el jarabe de alta concentración, en nuestro medio, es positivo debido a que el Ecuador es un país productor de banano en el mundo, el cual puede ser usado como edulcorante para dulces, jarabes medicinales, bebidas cítricas y gaseosas.

2.2 Hipótesis

H₀: ¿La hidrólisis enzimática de la pulpa de banano maduro no influye en la obtención de un jarabe de glucosa y fructosa?

H_a: ¿La hidrólisis enzimática de la pulpa de banano maduro si influye en la obtención de un jarabe de glucosa y fructosa?

2.3 Señalamiento de Variables de la hipótesis

2.3.1 Variable Independiente

La hidrólisis enzimática:

Relación fruta: agua

Concentración de enzimas alfa-amilasa y amilogucosidasa

2.3.2 Variable Dependiente

Propiedades fisicoquímicas:

Sólidos Solubles (°Brix)

Azúcares reductores

Glucosa

Fructosa

Color

Viscosidad

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Materiales

3.1.1 Materiales, equipos y reactivos utilizados para la obtención del jarabe de glucosa y fructosa

- | | |
|---|--------------------------------------|
| ✓ Plátano de desecho (<i>Musa paradisiaca</i>) | ✓ Vasos de precipitación |
| ✓ Cuchillos | ✓ Centrífuga |
| ✓ Licuadora | ✓ Tubos de ensayo |
| ✓ Termómetro | ✓ Papel filtro |
| ✓ pH – metro | ✓ Balones aforados de 25, 50 ml |
| ✓ Macerador | ✓ Espectrofotómetro |
| ✓ Enzimas: SIGMA Alfa-amilasa (<i>Aspergillus oryzae</i>), amiloglucosidasa (<i>Aspergillus niger</i>). | ✓ Ollas de aluminio |
| ✓ Probetas | ✓ Cocina |
| | ✓ Kit para cuantificación de glucosa |
| | ✓ Ácido 3-5 Dinitrosalicílico |

3.2 Métodos

3.2.1 Descripción del proceso para la obtención del jarabe de glucosa y fructosa a partir de plátano de desecho (*Musa paradisiaca*).

El esquema del proceso de obtención del jarabe de glucosa y fructosa a partir del plátano de desecho (*Musa paradisiaca*) se presenta en la Figura 1.

Preparación de la materia prima

Para la obtención del jarabe de glucosa y fructosa a partir de plátano maduro (*Musa Paradisiaca*), se utilizó como materia prima plátano de desecho mismo que fue obtenido en el Mercado Mayorista de la Ciudad de Quito, Provincia de Pichincha. Una vez seleccionada la materia prima, se realizó la caracterización de los plátanos tomando muestras con el mismo grado de madurez de manera aleatoria, se eliminaron

las impurezas presentes y se separó la cáscara para facilitar la operación del licuado. Se lavó la fruta y para licuar se añadió agua potable de acuerdo a la relación fruta – agua (1:2; 1:4). Posteriormente se calentó la pulpa hasta alcanzar una temperatura de 70 °C / 5 min con la finalidad de gelatinizar el almidón y facilitar la hidrólisis.

Hidrólisis enzimática

A la pulpa obtenida se la mantuvo primero a 55 °C para la realización de la licuefacción con alfa-amilasa SIGMA de *Aspergillus oryzae* con agitación constante por un lapso de 2 h. Luego se procedió a la sacarificación de las muestras por un período de 4 h utilizando amiloglucosidasa SIGMA de *Aspergillus niger*, adicionalmente se agregó a las muestras la misma cantidad de invertasa con la finalidad de desdoblar a la sacarosa presente.

Centrifugación

Al finalizar el proceso de hidrólisis se centrifugó a los jarabes a 10000 rpm por 15 min con la finalidad de separar el sobrenadante de los sólidos presentes como paso previo a la concentración.

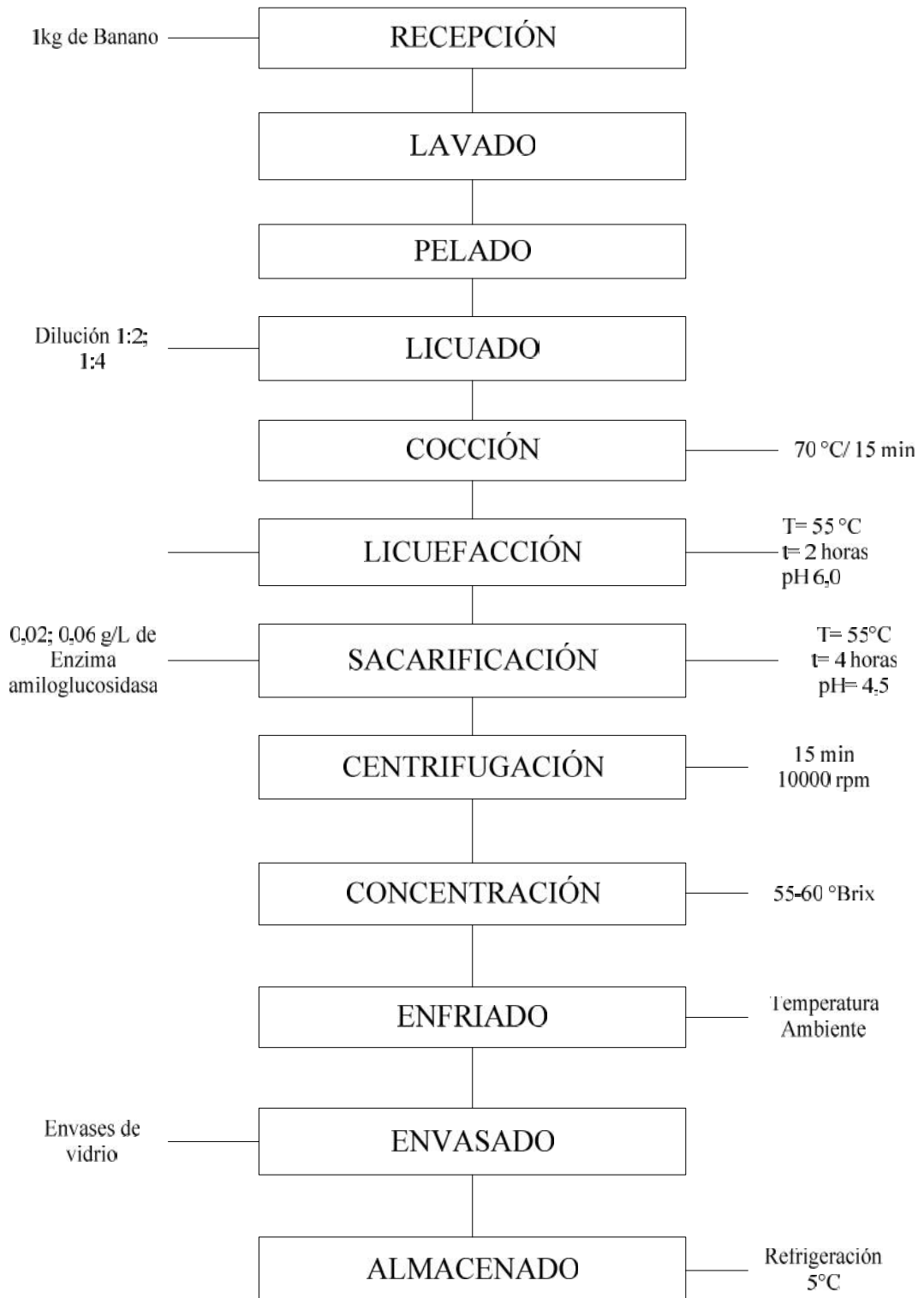
Concentración

La concentración de la solución obtenida se realizó por medio de una cocción en olla abierta hasta alcanzar de 70 a 75°Brix.

Refrigeración y Almacenamiento

Los jarabes concentrados fueron almacenados en envases de vidrio y refrigerados a 5 °C.

Figura 1: Diagrama de flujo para la obtención del jarabe de glucosa y fructosa a partir del banano maduro (*Musa Paradisiaca*)



*A todos los tratamientos se les adicionó la misma cantidad de invertasa (0,1 g/L)

Elaborado por: Belén Chiluisa, 2015.

3.2.2 Métodos de evaluación

Medición de pH

El pH se determinó según el procedimiento descrito por la AOAC código 10-030, utilizando un pH- metro marca Inolab.

Determinación de grados Brix

Los grados Brix de las muestras se determinaron de acuerdo al método descrito por Gallo (1997), utilizando un refractómetro.

Determinación de almidón

La determinación del almidón se realizó por el método polarimétrico, descrito por el Departamento de Nutrición y Calidad (INIAP).

Determinación de azúcares reductores

Los azúcares reductores de las muestras se determinaron siguiendo el método de Miller (1959) empleando Ácido 3,5 Dinitrosalicílico (DNS) y la técnica de espectrofotometría. Las absorbancias se midieron a 540 nm.

Determinación de glucosa

La determinación de glucosa se realizó empleando el reactivo GLUCOSA MR (Linear Chemicals) basado en el método de Trinder (1969). Las absorbancias se midieron a 505 nm.

Determinación de viscosidad aparente

La viscosidad aparente se la obtuvo siguiendo el método descrito por CYTEC (2000), utilizando un viscosímetro Brookfield con accesorios.

Determinación instrumental del color

El color de cada tratamiento se determinó siguiendo el método descrito por Montatixe (2012), utilizando un colorímetro COLOR TEC PCM/PSM.

Análisis sensorial

Como parte de la caracterización del mejor tratamiento se realizó el análisis sensorial del jarabe, para lo cual se efectuaron las cataciones de los tratamientos de acuerdo al diseño de bloques incompletos para 18 catadores con 3 réplicas y 2 tratamientos a cada catador, según el método descrito por Cochran (2008).

3.3 Diseño experimental

Se aplicó un diseño factorial completo 2^n el cual constó de 3 factores y 2 niveles, que dan un total de 8 tratamientos con una repetición lo cual responderá al siguiente modelo matemático (Saltos, 2010).

$$Y_{ijkl} = u + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + R_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde

u = efecto global

A_i = efecto del i -ésimo nivel del factor A

B_j = efecto del j -ésimo nivel del factor B;

C_k = efecto del k -ésimo nivel del factor C

$(AB)_{ij}$ = efecto de la interacción entre dos factores A y B

$(AC)_{ik}$ = efecto de la interacción entre dos factores A y C

$(BC)_{jk}$ = efecto de la interacción entre dos factores B y C

$(ABC)_{ijk}$ = efecto de la interacción entre los factores A, B y C

R_l = efecto de la replicación del experimento

ε_{ijkl} = residuo o error experimental

A continuación se detalla los factores y niveles que se tomaron en cuenta para el diseño experimental (Tabla 1) y la descripción de los tratamientos resultantes (Tabla 2):

Tabla 1. Descripción de los tratamientos de acuerdo al diseño, factores y niveles

Factores	Niveles
A: Relación fruta: agua	a ₀ : 1:2
	a ₁ : 1:4
B: Cantidad de enzima alfa-amilasa	b ₀ : 0,2 g/L
	b ₁ : 0,6 g/L
C: Cantidad de enzima amiloglucosidasa	c ₀ : 0,02 g/L
	c ₁ : 0,06 g/L

Elaborado por: Belén Chiluisa, 2015

Tabla 2. “Descripción de los tratamientos”

TRATAMIENTOS	DESCRIPCIÓN
a ₀ b ₀ c ₀	Dilución 1:2; 0,2 g de alfa-amilasa/L; 0,02 g de amiloglucosidasa/L
a ₀ b ₁ c ₀	Dilución 1:2; 0,6 g de alfa-amilasa/L; 0,02 g de amiloglucosidasa/L
a ₀ b ₀ c ₁	Dilución 1:2; 0,2 g de alfa-amilasa/L; 0,06 g de amiloglucosidasa/L
a ₀ b ₁ c ₁	Dilución 1:2; 0,6 g de alfa-amilasa/L; 0,06 g de amiloglucosidasa/L
a ₁ b ₀ c ₀	Dilución 1:4; 0,2 g de alfa-amilasa/L; 0,02 g de amiloglucosidasa/L
a ₁ b ₁ c ₀	Dilución 1:4; 0,6 g de alfa-amilasa/L; 0,02 g de amiloglucosidasa/L
a ₁ b ₀ c ₁	Dilución 1:4 0,2 g de alfa-amilasa; 0,06 g de amiloglucosidasa/L
a ₁ b ₁ c ₁	Dilución 1:4 0,6 g de alfa-amilasa; 0,06 g de amiloglucosidasa/L

Elaborado por: Belén Chiluisa, 2015

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Análisis Físico-Químicos

4.1.1. Análisis Proximal de la materia prima

La Tabla 3 muestra los valores de sólidos solubles, pH, y humedad. El valor de pH (4,61) es similar al reportado por Arrieta et al., (2006) en su estudio titulado “Caracterización fisicoquímica del proceso de maduración del plátano” que es de 4,6.

Tabla 3. “Caracterización del plátano maduro (*Musa paradisiaca*)”

Parámetro	Valor obtenido
Sólidos Solubles (°Brix)	5,00
pH (muestra +agua)	4,61
Humedad (%)	61

Elaborado por: Belén Chiluisa, 2015

4.1.2. Porcentaje de Sólidos Solubles °Brix

4.1.2.1 Jugo de Plátano

Una vez realizados los jugos de plátano de acuerdo al diseño experimental, se efectuó un análisis de sólidos solubles y pH a los tratamientos obtenidos. Como indica la Tabla 3, el fruto de plátano posee una cantidad de sólidos solubles de 5 °Brix; sin embargo, a pesar de que el fruto es diluido con agua para obtener el jugo, se produce un aumento de °Brix (6 a 8) debido al calentamiento del jugo a 70 °C para gelatinizar el almidón a fin de que las enzimas puedan actuar de manera eficaz. En la Tabla 4 se aprecia que los tratamientos con una relación fruta: agua de 1:4, poseen valores más bajos de sólidos solubles, debido a que la dilución de sólidos en agua es mayor. De la misma manera, los tratamientos más diluidos presentaron un mayor valor de pH.

Tabla 4. “Sólidos Solubles °Brix y pH de cada tratamiento”

Tratamiento	Sólidos Solubles °Brix	pH
a₀b₀c₀	8,0 ± 0,07	4,56 ± 0,01
a₀b₁c₀	8,0 ± 0,14	4,56 ± 0,01
a₀b₀c₁	8,0 ± 0,14	4,56 ± 0,01
a₀b₁c₁	8,0 ± 0,21	4,56 ± 0,01
a₁b₀c₀	6,0 ± 0,07	4,62 ± 0,02
a₁b₁c₀	6,0 ± 0,07	4,62 ± 0,01
a₁b₀c₁	6,0 ± 0,14	4,62 ± 0,01
a₁b₁c₁	6,0 ± 0,07	4,62 ± 0,01

Los resultados son la media ± desviación estándar. **Elaborado por:** Belén Chiluisa 2015

4.1.2.2 Etapa de licuefacción

La α -amilasa es una endoenzima, que ataca a los polisacáridos en las uniones glucosídicas (1,4), a lo largo de la cadena. Los primeros productos de la hidrólisis del almidón por la α -amilasa son mezcla de amilosas, de cadena más corta (Barrera et al., 2004). En el presente trabajo, la licuefacción efectuada mediante la actividad de la alfa-amilasa, a las condiciones descritas en el capítulo II de materiales y métodos, produjo un incremento en el contenido de sólidos solubles en todos los tratamientos.

En la Figura 2, se muestra la gráfica del efecto del tiempo de hidrólisis sobre la concentración de sólidos solubles expresada en °Brix durante el proceso de licuefacción de la pulpa de plátano. Se observa que los valores mayores (14,0 °Brix) se obtuvieron en las muestras con dilución 1:2 (a₀) y concentraciones de 0,6 g/L de alfa-amilasa (b₁), mientras que los tratamientos con dilución 1:4 (a₁) y concentraciones de 0,2 g/L de alfa-amilasa (b₀) presentaron valores menores de sólidos solubles (6 °Brix), es decir que los factores que mayor relevancia tienen en la etapa de licuefacción son el factor A (dilución) y el factor B (concentración de enzima alfa-amilasa).

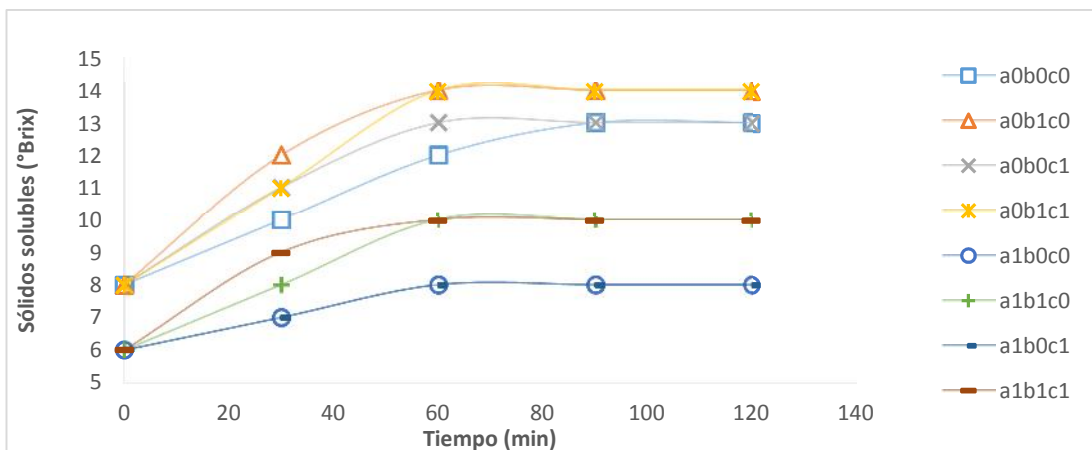


Figura 2. “Sólidos Solubles de los tratamientos en la etapa de licuefacción”

Elaborado por: Belén Chiluisa 2015

4.1.2.3 Etapa de sacarificación

La amiloglucosidasa es una exoenzima que hidroliza los enlaces glucosídicos (1,4) y (1,6) de la amilosa y la amilopectina, ya que opera en los terminales de las cadenas, produce cada vez más moléculas de glucosa (Belitz y Grosh, 1997).

En la Figura 3, se observa el comportamiento de los °Brix durante el tiempo de reacción (180 min). Los valores se mantienen constantes puesto que la enzima alfa-amilasa ha desdoblado suficientemente al almidón.

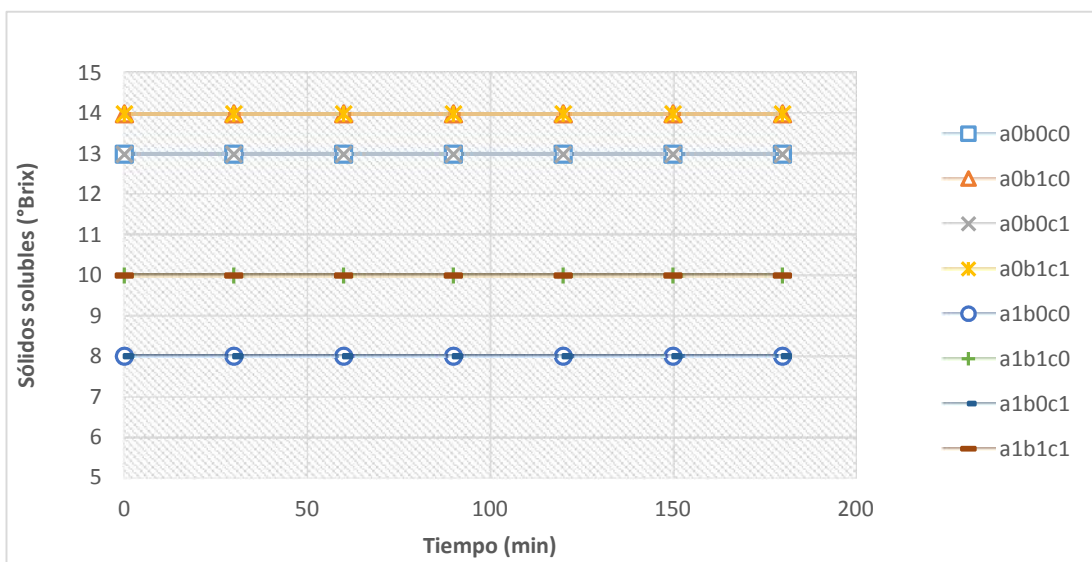


Figura 3. “Sólidos Solubles de los tratamientos en la etapa de sacarificación”

Elaborado por: Belén Chiluisa 2015

4.1.3 Contenido de almidón

Se determinó por el método polarimétrico (Anexo A1.3). En la Tabla 5 se aprecian los porcentajes del contenido de almidón para los diferentes tratamientos, valores menores (0,18 %) presentaron las muestras con dilución 1:2, 0,6 g/L de alfa-amilasa y 0,06 g/L de amiloglucosidasa ($a_0b_1c_1$) que en la muestra con dilución 1:4, 0,6 g/L de alfa-amilasa y 0,06 g/L de amiloglucosidasa ($a_1b_1c_1$; 0,33 %), estos resultados indican que los tratamientos con mayor concentración de enzimas presentaron contenidos de almidón bajos ya que durante las etapas de licuefacción y sacarificación se logró una mayor ruptura de la estructura cristalina del almidón.

Tabla 5. “Contenido de almidón en los tratamientos”

Tratamiento	Contenido de almidón (%)
$a_0b_0c_0$	1,09%
$a_0b_1c_0$	0,36%
$a_0b_0c_1$	0,74%
$a_0b_1c_1$	0,18%
$a_1b_0c_0$	0,64%
$a_1b_1c_0$	0,43%
$a_1b_0c_1$	0,64%
$a_1b_1c_1$	0,33%

Elaborado por: Belén Chiluisa 2015

4.1.4 Azúcares reductores

El contenido de azúcares reductores determinado por el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) se presenta en el Anexo A1.4, la Tabla 6, muestra los valores promedio de los azúcares obtenidos para cada tratamiento a diferentes tiempos de hidrólisis; el análisis estadístico con un 95% de confianza nos indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos es decir, la dilución influye en la cuantificación de azúcares reductores.

Tabla 6. “Contenido de Azúcares reductores para cada tratamiento a diferentes tiempos de hidrólisis”

Tratamiento	[Azc] final mg/ml				
	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min
a0b0c0	43,24± 2,1 ^b	44,24± 1,1 ^b	58,87± 1,1 ^b	65,46± 1,1 ^{ab}	75,07 ± 1,1 ^b
a0b1c0	68,33 ± 2,1 ^b	73,63± 1,1 ^b	79,08 ± 1,1 ^b	85,96± 1,1 ^b	88,25 ± 1,1 ^b
a0b0c1	43,96± 2,1 ^{ab}	72,34± 1,1 ^b	78,22 ± 1,1 ^b	78,43 ± 1,1 ^{ab}	81,66 ± 1,1 ^b
a0b1c1	48,26± 2,1 ^{ab}	62,59± 1,1 ^b	77,65 ± 1,1 ^b	82,95 ± 1,1 ^b	84,42 ± 1,1 ^b
a1b0c0	20,30± 2,1 ^a	32,49± 1,1 ^a	35,07 ± 1,1 ^a	36,65 ± 1,1 ^a	80,43 ± 1,1 ^{ab}
a1b1c0	25,59± 2,1 ^a	32,06± 1,1 ^a	32,63 ± 1,1 ^a	35,58 ± 1,1 ^{ab}	76,93 ± 1,1 ^{ab}
a1b0c1	24,32 ± 2,1 ^{ab}	31,74± 1,1 ^a	36,50 ± 1,1 ^a	37,65 ± 1,1 ^{ab}	49,69 ± 1,1 ^a
a1b1c1	28,90 ± 2,1 ^{ab}	39,94 ± 1,1 ^a	40,09 ± 1,1 ^a	44,67 ± 1,1 ^a	52,70 ± 1,1 ^a

Los promedios con letras diferentes (en superíndices) en un misma columna indican diferencias significativas (p<0,05). **Elaborado por:** Belén Chiluisa 2015

4.1.5 Contenido de Glucosa (mg/ml)

El contenido de glucosa determinado empleando el reactivo GLUCOSA MR (Linear Chemicals) basado en el método de Trinder (1969) se presenta en la Tabla 7 (Anexo A1.5). Se observa que la muestra con dilución 1:2, 0,6 g/L de alfa-amilasa, 0,06 g/L, es decir, contiene la mayor concentración de glucosa (18,9 mg/ml), en tanto que, la muestra con menor concentración (11,5 mg/ml) fue la correspondiente a la dilución 1:2, 0,2 g/L de alfa-amilasa, 0,02 g/L de amiloglucosidasa.

Tabla 7. “Concentración de Glucosa para cada tratamiento”

Tratamientos	Absorbancia	[Glc] final mg/ml
a0b0c0	0,0655	1,5
a0b1c0	0,2265	15,9
a0b0c1	0,267	15,7
a0b1c1	0,294	18,9
a1b0c0	0,2695	14,3
a1b1c0	0,381	17,7
a1b0c1	0,276	13,0
a1b1c1	0,2935	13,9

Elaborado por: Belén Chiluisa 2015

4.1.6 Contenido de Fructosa

El contenido de fructosa se calculó a través de la diferencia entre los azúcares reductores directos y el contenido de glucosa (Anexo A.1.6). La Tabla 8 muestra que

un valor mayor de fructosa (14,76 mg/ml) presentó la muestra con dilución 1:2, 0,6 g/L de alfa-amilasa y 0,06 g/L de amiloglucosidasa, mientras que un valor menor (1,27 mg/ml) se observa en la muestra con dilución 1:4, 0,6 g/L de alfa-amilasa y 0,06 g/L de amiloglucosidasa

Tabla 8. “Concentración de fructosa en cada tratamiento”

Tratamientos	[Fructosa] mg/ml
a₀b₀c₀	7,20
a₀b₁c₀	5,90
a₀b₀c₁	7,56
a₀b₁c₁	14,76
a₁b₀c₀	6,82
a₁b₁c₀	1,92
a₁b₀c₁	5,09
a₁b₁c₁	1,27

4.1.6 Rendimientos volumétricos en el proceso de concentración del jugo en jarabe.

En la Tabla 9, se registran los promedios de los rendimientos volumétricos obtenidos por efecto de la concentración aplicada al jugo de plátano.

Tabla 9. “Rendimiento promedio en el proceso de concentración del jugo de plátano”

Tratamientos	Volumen de jugo a concentrar (ml)	Volumen del jarabe obtenido (ml)	Rendimiento % (v/v)
a₀b₀c₀	500	45	9 ± 2,1
a₀b₁c₀	680	70	10 ± 3,5
a₀b₀c₁	500	35	7 ± 3,5
a₀b₁c₁	510	38	7 ± 1,4
a₁b₀c₀	600	38	6 ± 3,5
a₁b₁c₀	600	35	6 ± 2,8
a₁b₀c₁	700	36	5 ± 3,5
a₁b₁c₁	700	36	5 ± 2,1

a₀: (Fruta: agua) 1:2

b₀: 0,2 g/L enzima alfa-amilasa

c₀: 0,02 g/L enzima amiloglucosidasa

a₁: (Fruta: agua) 1:4

b₁: 0,6 g/L enzima alfa-amilasa

c₁: 0,06 g/L enzima amiloglucosidasa

Los resultados son la media ±desviación estándar. **Elaborado por:** Belén Chiluisa 2015

Los datos evidencian que el tratamiento con mayor rendimiento (10 %) fue obtenido con la dilución 1:2, 0,6 g/L de alfa-amilasa, 0,02 g/L de amiloglucosidasa (a₀b₁c₁),

mientras que, los tratamientos que registran menor promedio (5 %) fueron las muestras con dilución 1:2, 0,2 g/L de alfa-amilasa, 0,06 g/L de amiloglucosidasa ($a_0b_0c_1$), dilución 1:4, 0,2 g/L de alfa-amilasa y 0,06 g/L de amiloglucosidasa ($a_1b_0c_1$), y dilución 1:4, 0,6 g/L de alfa-amilasa, y 0,06 g/L de amiloglucosidasa ($a_1b_1c_1$), es decir, el factor que mayor relevancia tiene sobre el rendimiento es la dilución que se realizó a cada muestra siendo así que todos los tratamientos con una dilución 1:2 registran valores más altos.

Los rendimientos reportados son bajos debido al método utilizado para la concentración del jarabe el mismo que se lo realizó en olla abierta, lo cual concuerda con lo reportado por Marcial (2008) en su estudio “Desarrollo de tecnología para la elaboración de jarabe con alto contenido de Fructooligosacáridos (FOS) a partir de Jícama”, cuyos rendimientos son 8,5 y 7,37 % al trabajar en olla abierta.

4.1.7 Valores finales de pH y °Brix de los jarabes de plátano

El pH es otro de los factores de calidad a controlar en los jarabes, un pH bajo favorece en la estabilidad del color del jarabe durante períodos prolongados de almacenamiento (Bostan y Boyacioglu, 1997). En la Tabla 10 se puede observar que el pH en el jarabe de plátano varió de 4,3 a 4,4 en los tratamientos, y se encuentran dentro del rango reportado por Pérez et al. (2002) el cual varió entre 4,2 hasta 4,7.

De acuerdo a los resultados para °Brix (Tabla 10), la muestra con dilución 1:2, 0,2 g/L de alfa-amilasa y 0,06 g/L de amiloglucosidasa ($a_0b_0c_1$) presentó una concentración elevada de sólidos solubles (75 °Brix) en comparación con los demás tratamientos, mientras que las muestras con menor concentración de sólidos solubles (71 °Brix) fueron las correspondientes a la dilución 1:4, 0,4 g/L de alfa-amilasa, 0,02 g/L de amiloglucosidasa ($a_1b_1c_0$); la dilución 1:4, 0,2 g/L de alfa-amilasa, 0,06 g/L de amiloglucosidasa ($a_1b_0c_1$); y a la dilución 1:4, 0,4 g/L de alfa-amilasa, 0,06 g/L de amiloglucosidasa ($a_1b_1c_1$). Los valores obtenidos son comparables a los reportados por Pérez et al (2002), quien menciona que el jarabe de glucosa debe tener no menos de 70 °Brix para cumplir con el estándar.

Tabla 10. “Valores de pH y °Brix finales de los jarabes de plátano”

Tratamiento	pH	°Brix
a₀b₀c₀	4,40	74
a₀b₁c₀	4,40	74
a₀b₀c₁	4,40	75
a₀b₁c₁	4,40	74
a₁b₀c₀	4,30	72
a₁b₁c₀	4,30	71
a₁b₀c₁	4,30	71
a₁b₁c₁	4,30	71

Elaborado por: Belén Chiluisa 2015

4.1.8 Viscosidad Aparente

La viscosidad se midió en el viscosímetro Brookfield, que reporta la lectura en centipoises (10^{-3} Pa·s) a una velocidad de 70 revoluciones por minuto (rpm).

En la Tabla 11 se muestra que los tratamientos con mayor viscosidad fueron los que corresponden a las diluciones 1:2 (a_0) mientras que las muestras con una dilución 1:4 (a_1) presentaron menor viscosidad. Las diferencias encontradas entre los tratamientos, se ven influenciadas por el tiempo de cocción, cantidad de agua y sólidos solubles en los jugos hidrolizados

Tabla 11. “Valores de viscosidad aparente del jarabe de plátano a 70 rpm”

Tratamientos	rpm	Viscosidad (10^{-3} Pa·s)
a₀b₀c₀	70	1429,0
a₀b₁c₀	70	736,1
a₀b₀c₁	70	642,9
a₀b₁c₁	70	562,5
a₁b₀c₀	70	375,0
a₁b₁c₀	70	303,6
a₁b₀c₁	70	203,1
a₁b₁c₁	70	187,5

Elaborado por: Belén Chiluisa 2015

4.1.9 Análisis de Color

El color es una percepción humana de la luz reflejada por un objeto. El color resulta de la interacción de la luz en la retina y un componente físico que depende de

determinadas características de la luz. Estas características son, esencialmente el tono o matiz, la saturación o pureza y la luminosidad o brillo (Sancho, 1999).

El CIELAB es un modelo cromático usado normalmente para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano. Los tres parámetros en el modelo representan la luminosidad de color (L^* , $L^*=0$ rendimientos negro y $L^*=100$ indica blanca), su posición entre rojizo y verdoso (a, valores negativos indican verde mientras que valores positivos indican rojizo) y su posición entre amarillo y azul (b, valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo).(Westland, 2001)

La Tabla 12 muestra los parámetros que definen el color del jarabe de plátano. De acuerdo con estos valores, se determinó que para el valor de “a” los tratamientos $a_0b_0c_0$, $a_0b_0c_1$, $a_0b_1c_0$, $a_0b_1c_1$ y $a_1b_1c_1$ tienen una intensidad de rojo baja, mientras que en los tratamientos $a_1b_0c_0$ y $a_1b_0c_1$ la intensidad de rojo es media, siendo el tratamiento $a_1b_1c_0$ el que tiene una media más alta y un valor de “a” más intenso entre todos los tratamientos.

Los tratamientos con menor tendencia a amarillo según el valor de “b” fueron $a_0b_0c_1$ y $a_0b_1c_1$, en comparación de los tratamientos $a_0b_0c_0$, $a_0b_1c_0$, $a_1b_0c_0$, $a_1b_1c_0$, $a_1b_0c_1$ y $a_1b_1c_1$, que tienen una tonalidad amarilla más fuerte (Tabla 12).

La Luminosidad corresponde al grado de claridad u oscuridad de un color, de acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla 12), en el valor de “L” las muestras variaron entre 34,41 y 50,76.

El Tono (H), es el atributo de una sensación visual según la cual una región se asemeja a uno de los colores percibidos: rojo, amarillo, verde y azul, o a una combinación de dos de ellos, (Montesinos, 2003). Con respecto a los datos obtenidos (Tabla 11), los valores de H variaron en un rango de 78,04 a 84,28.

La Cromaticidad (C), es la intensidad o pureza de un color. Se refiere a la intensidad de un tono sumado a su brillantez pura. Cuando un color no tiene ninguna mezcla, entonces alcanza su máxima saturación (Boscarol, 2007), de acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla 12) las muestras variaron en un rango de 15,17 a 22,97.

Tabla 12. “Datos de color en el jarabe de plátano”

Tratamiento	a	b	L*	Tono (H)	Cromaticidad C
a ₀ b ₀ c ₀	1,55 ± 0,08	12,55 ± 0,20	50,76 ± 1,09	84,28 ± 0,46	19,72 ± 0,62
a ₀ b ₁ c ₀	1,71 ± 0,07	11,05 ± 0,57	44,20 ± 0,90	82,86 ± 0,71	18,43 ± 0,91
a ₀ b ₀ c ₁	1,12 ± 0,11	9,01 ± 0,21	40,40 ± 1,36	84,13 ± 0,81	15,17 ± 0,70
a ₀ b ₁ c ₁	1,42 ± 0,17	8,78 ± 0,58	37,41 ± 1,65	82,51 ± 0,20	15,43 ± 1,63
a ₁ b ₀ c ₀	2,38 ± 0,42	13,84 ± 0,48	48,73 ± 1,14	82,39 ± 1,04	22,97 ± 0,71
a ₁ b ₁ c ₀	3,40 ± 0,24	12,54 ± 0,21	45,80 ± 0,63	78,04 ± 0,52	21,41 ± 0,69
a ₁ b ₀ c ₁	2,43 ± 0,02	10,29 ± 0,16	34,41 ± 0,13	79,87 ± 0,12	19,94 ± 0,47
a ₁ b ₁ c ₁	1,73 ± 0,66	11,58 ± 1,05	41,94 ± 1,59	83,52 ± 0,67	20,51 ± 1,08

a₀: (Fruta: agua) 1:2

b₀: 0,2 g/L enzima alfa-amilasa

C₀: 0,02 g/L enzima amiloglucosidasa

a₁: (Fruta: agua) 1:4

b₁: 0,6 g/L enzima alfa-amilasa

C₁: 0,06 g/L enzima amiloglucosidasa

Los resultados son la media ±desviación estándar. **Elaborado por:** Belén Chiluisa 2015

4.1.9 Análisis Sensorial

Se realizó el análisis sensorial para el color, aroma, sabor, viscosidad y aceptabilidad del jarabe de plátano producido con los diferentes tratamientos.

Como se muestra en la Tabla 13, para el parámetro color, los catadores no identificaron diferencias significativas entre las muestras de jarabe de plátano, atribuyendo al producto un color “ámbar amarillo”.

En el parámetro aroma, los catadores calificaron a la muestra con dilución 1:2, 0,6 g/L de alfa-amilasa, 0,06 g/L de amiloglucosidasa (a₀b₁c₁) con un promedio de 1,57 en la escala categorizada de 5 puntos, el valor asignado describe a un producto de aroma “frutal”.

Para los catadores la muestra que mejor sabor y viscosidad presentó fue la producida con la dilución 1:2, 0,6 g/L de alfa-amilasa, 0,06 g/L de amiloglucosidasa (a₀b₁c₁), con un promedio de calificación de 1,71 y 1,14, respectivamente; los valores asignados califican a la muestra con un sabor “dulce” y una consistencia “viscosa”.

Para la aceptabilidad, la muestra que presentó un promedio de 1,43 fue la elaborada con la dilución 1:4, 0,2 g/L de alfa-amilasa, 0,06 g/L de amiloglucosidasa, la cual agradó mucho a los panelistas.

Tabla 13. “Datos del análisis sensorial de jarabe de plátano”

TRATAMIENTOS	COLOR	AROMA	SABOR	VISCOSIDAD	ACEPTABILIDAD
aoboc₀	2,57 ± 0,29 ^a	2,00 ± 20 ^{ab}	2,29 ± 0,21 ^{ab}	1,43 ± 0,18 ^a	1,57 ± 0,25 ^a
aob₁c₀	2,43 ± 0,25 ^a	2,14 ± 0,24 ^{ab}	2,43 ± 0,16 ^a	1,57 ± 0,24 ^a	1,57 ± 0,25 ^a
aob₀c₁	2,29 ± 0,25 ^a	2,14 ± 0,20 ^{ab}	3,00 ± 0,18 ^{ab}	1,43 ± 0,20 ^a	1,57 ± 0,25 ^a
aob₁c₁	2,14 ± 0,25 ^a	1,57 ± 0,20 ^{ab}	1,71 ± 0,18 ^a	1,14 ± 0,20 ^a	1,57 ± 0,25 ^a
a₁boc₀	2,29 ± 0,25 ^a	2,57 ± 0,18 ^b	2,14 ± 0,18 ^{ab}	2,71 ± 0,20 ^b	1,71 ± 0,25 ^a
a₁b₁c₀	2,43 ± 0,25 ^a	2,14 ± 0,20 ^{ab}	2,00 ± 0,18 ^a	2,71 ± 0,20 ^b	2,29 ± 0,25 ^a
a₁b₀c₁	2,71 ± 0,25 ^a	2,43 ± 0,20 ^{ab}	2,71 ± 0,18 ^{ab}	1,57 ± 0,20 ^a	1,43 ± 0,25 ^a
a₁b₁c₁	2,29 ± 0,25 ^a	2,29 ± 0,38 ^{ab}	2,14 ± 0,18 ^a	2,00 ± 0,20 ^{ab}	2,00 ± 0,30 ^a

Los promedios con letras diferentes (en superíndices) en un misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$). **Elaborado por:** Belén Chiluisa 2015

4.2 Verificación de la hipótesis

A un nivel de confianza del 95% se determinó diferencias significativas al analizar cada una de las respuestas experimentales, por lo que se acepta la hipótesis alternativa es decir que la hidrólisis enzimática de la pulpa de banano maduro si influye en las características fisicoquímicas y organolépticas del jarabe de glucosa y fructosa.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- A nivel experimental y en condiciones de laboratorio, se obtuvo jarabe de glucosa y fructosa mediante hidrólisis enzimática de la pulpa de plátano maduro. Los factores relación fruta-agua, concentración de alfa amilasa y concentración de amiloglucosidasa influyen significativamente sobre el contenido de sólidos solubles (°Brix), rendimiento, viscosidad, color, azúcares reductores, y contenido de glucosa. Estableciendo que la mejor combinación de los niveles de cada factor corresponde a la relación 1:2 fruta: agua, 0,6 g/L de alfa-amilasa y 0,02 g/L de amiloglucosidasa.
- Se determinaron las propiedades físico-químicas del jarabe de plátano en el cual para el mejor tratamiento el contenido de azúcares reductores fue de 88,25 mg/ml, de glucosa 18,9 mg/ml, fructosa 14,76 mg/ml, el rendimiento volumétrico de 10 %, la viscosidad aparente de 562,5 centipoises (10^{-3} Pa·s), los sólidos solubles finales fueron de 74 °Brix y un valor de pH de 4,4.
- Mediante el análisis sensorial de los atributos organolépticos del jarabe de plátano se determinó que el tratamiento con la relación 1:2 fruta: agua, 0,6 g/L de alfa-amilasa y 0,02 g/L de amiloglucosidasa presentó mejores características organolépticas, calificando con un promedio de 1,5 correspondiente a un aroma frutal, 1,7 a un sabor dulce y 1,1 para la consistencia el cual representa un producto viscoso. Debido a que en la apreciación del atributo color y aceptabilidad no se presentaron diferencias significativas por parte de los catadores, puesto que en su mayoría calificaron al parámetro color como “ámbar rojizo” y al parámetro aceptabilidad como “me agrada mucho”, se seleccionó el mejor tratamiento en base al análisis de las propiedades físico-químicas mencionadas anteriormente.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda estudiar la estabilidad del jarabe obtenido a diferentes temperaturas, para verificar si no ocurre cristalización en frío del jarabe.
- Estudiar otras formas de concentración del jarabe
- Evaluar posibles formas de presentación del producto con la finalidad de dar lugar a otros trabajos y posicionar el producto al mercado.
- Se debería tener una proyección del uso de enzimas de producción nacional, teniendo en cuenta los costos en que se incurre por la importación de enzimas que son altamente costosas.
- Analizar la factibilidad económica para determinar así, el costo de implementación de una planta de producción y el costo de producción de jarabe de plátano a escala industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afanador, A. (2005). El banano en la Producción de alcohol carburante. *Revista EIA, ISSN 1794 - 1237*, 51-68.
- AOAC. (1975). *Method of Analysis 10.030. Hidrogen-Ion Concentration (pH)*. Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de Association of Official Analytical Chemists: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0389.1986.pdf>
- Arrieta, J., Baquero, M., & Barrera, J. L. (2006). Caracterización fisicoquímica del proceso de maduración del plátano. *Agronomía Colombiana*, 24(1), 48,53. Recuperado el 16 de Agosto de 2015, de Agronomía Colombiana: <http://www.bdigital.unal.edu.co/23224/1/20001-66814-1-PB.pdf>
- Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos*. México: Pearson Educación.
- Barrera, V., Tapia, C., & Monteros, A. (2004). Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. *Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias*, 105-108.
- Belitz, H., & Grosch, W. (1997). *Química de los Alimentos*. Zaragoza, España: Editorial Acirbia S.A.
- Bermudes, J., & Casquete, J. (2008). *Elaboración de edulcorantes a partir de almidones aplicando enzimas alfa y beta amilasas de origen vegetal*. Recuperado el 6 de Junio de 2015, de repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/2063/1/1064.pdf
- Boscarol, M. (2015). *CIELAB. Imagen Digital*. Recuperado el 26 de Julio de 2015, de http://www.gusgsm.com/espacio_color_Ich
- Bostan, A., & Boyacioglu, D. (1997). *Kinetics of non-enzymatic colour development in glucose syrups during storage*. Food Chemistry.
- Cardona, A., & Duque, S. (2015). *Proyección del plátano en Colombia como alternativa de aprovechamiento para productos de valor agregado*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 26 de Julio de 2015, de

http://www.unalmed.edu.co/biofab/memorias/Posters/Proyeccion_platano_Colombia_alternativa.pdf

- Carrera, J. (2002). *Módulos de biotecnología*. Recuperado el 15 de Abril de 2015, de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/711/1/97391.pdf>
- Cochran, W. (1990). *Diseños Experimentales*. México: Editorial Trillas.
- Coello, C., & Linares, C. (2009). Produccion y comercializacion de productos derivados del plátano como alternativa nutricional para los ecuatorianos. *Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil*, 11.
- Crabb, W., & Mitchinson, C. (1997). Enzymes involved in the processing of starch to sugar. *Trends in Biotechnology*, 349, 352.
- CYTEC. (2000). Manual de Métodos de Caracterización de Carbohidratos. *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*, 113.
- Espinel, C. (2011). La cadena del plátano en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica. *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Agro cadenas Colombia*.
- FAO. (2007). *Food and Agriculture Organisation of the United Nation*. Recuperado el 2 de Abril de 2015, de Agricultural data base: <http://faostat.fao.org>
- Gallo, F. (2010). *Manual de Fisiología, Patología Post-Cosecha y Control de Calidad de Frutas y Hortalizas*. Armenia, Quindío, Colombia: Segunda Edición.
- Larqué, S., Magdub, M., Rendón, S., & Hernández, T. (2010). *Revista Fitotécnica Mexicana. El Jarabe de henequén*. Recuperado el 26 de Julio de 2015, de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/610/61030414.pdf>
- Marcial, N. (2008). *Desarrollo de Tecnología para la Elaboración de Jarabe con alto contenido de FOS a partir de Jícama*. Quito.
- Miller, G. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytic Chemistry*, 31;426-428.

- Montatixe, G. (2012). Desarrollo y Evaluación de la Tecnología de Fermentación Sólida del Grano Desamargado de Chocho. 250.
- Montesinos, R. (2003). *Especificación cromática de gamas de colores usadas en la industria de calzado*. Universidad Alicante .
- Narvaes, G. (2012). *Estudio de Factibilidad para producir jarabes a partir del banano de rechazo como materia prima para el sector farmacéutico*. Recuperado el 9 de Mayo de 2015, de www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1032/1/2026/pdf
- Pérez, L., Sánchez, S., & Vázquez, E. (2002). *Laboratorio de escala de maltodextrina y jarabe de glucosa de almidón de plátano*. Recuperado el 25 de Julio de 2015, de http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-55042002000100008&lng=es&nrm=iso
- Rodríguez, L., Bello, L., & Hernández, J. (09 de Junio de 2015). *Scientific Electronic Library Online*. Obtenido de Obtencion de jarabe fructosaso a partir de almidón de plátano: www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442008000500011&script=sci_arttext
- Saltos, H. (2010). *Sensometría, Análisis en el Desarrollo de Alimentos Procesados*. Ambato: Pedagógica Freire.
- Sancho, J. (1999). *El sentido de la vista. En Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. Barcelona - España: Universidad de Barcelona.
- Shenck-Hebeda. (2009). *Starch Hydrolysis Products*. Recuperado el 28 de Mayo de 2015, de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/711/1/97391.pdf>
- Soto, M. (1992). *Bananos Cultivo y Comercialización*. Costa Rica: Litografía e Imprenta LIL, S.A.
- Thompson, A. (1995). Variedades ugandesas de bananos y sus usos. In: Agriculture . *Bananos. III.*, 116,120.

- Trinder, P. (1969). Determination of glucose in blood using glucose oxidase with an alternative oxygen acceptor. *Ann. Clin. Biochem*, 6,24-25.
- Uribe, J. (2010). Obtencion de Jarabe Fructosado a partir de almidon de plátano. *Instituto Politécnico Nacional*, 8,9.
- Westland, S. (2015). *Espacio de color CIE L*a*b**. Recuperado el 10 de Agosto de 2015, de http://www.gusgsm.com/espacio_color_cie_lab

ANEXOS

ANEXO 1. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS

A1.1 Determinación del pH: pH – metro ORION 420 A (Montatixe, 2005)

Durante la conservación de los alimentos y en el deterioro de estos, pueden presentarse cambios debidos a la acción enzimática y al desarrollo de microorganismos. La intensidad de estos cambios es influida marcadamente por la concentración del ión hidrógeno, de ahí que la medición del pH es importante para establecer la efectividad de las condiciones de conservación.

a. Materiales y Equipo

Potenciómetro

Vasos de precipitación de 250 ml

Varilla de agitación

b. Procedimiento

Colocar en un vaso de precipitación 25 ml de la muestra

Dejar reposar por 5 minutos

Introducir el potenciómetro en el vaso y medir

Anotar el valor obtenido

A1.2 Determinación de los grados Brix en el jugo y jarabe Hand – Held Refractómetro ATAGO HRS – 500. Medida del Índice Refractométrico (Gallo, 1997)

Utilizar un refractómetro manual con escala de lectura en 0.2 unidades. Se ha convenido llamar azúcares como sólidos solubles, o índice refractométrico (IR) o grados Brix, al porcentaje de materias secas solubles contenidas en el jugo y medidas por refractometría.

Verter alguna gotas del jugo o de jarabe sobre el prisma del refractómetro y colocar el aparato en frente a una fuente de luz. La lectura se hace sobre la escala del ocular, en el punto de la intersección de la zona clara y oscura.

A1.3 Determinación del almidón por el método polarimétrico

PRINCIPIO

El almidón es tratado con una solución diluida de ácido clorhídrico en baño María y luego se determina el ángulo de rotación de la luz de una solución clara en el polarímetro.

EQUIPO Y MATERIAL

- ✓ Balones de 50 ml
- ✓ Embudos plásticos
- ✓ Pipetas graduadas
- ✓ Piceta
- ✓ Portaembudos
- ✓ Tubos plásticos de 50 ml
- ✓ Gradilla
- ✓ Centrífuga
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Baño María
- ✓ Polarímetro
- ✓ Tubo polarimétrico de 200 mm
- ✓ Papel filtro cualitativo

REACTIVOS

- ✓ Ácido clorhídrico 0.31 N
- ✓ Ácido clorhídrico al 25%
- ✓ Solución I: ferrocianuro de potasio trihidratado al 15% en agua destilada
- ✓ Solución II: sulfato de zinc heptahidratado al 30% en agua destilada

PROCEDIMIENTO

PARA MUESTRA

- Secar la muestra a 65°C y molerla, pesar 2.5 g en un balón aforado de 50 ml.
- Agregar 25 ml de ácido clorhídrico 0,31 N y agitar por 15 minutos

- Llevar a baño de agua hirviente por 15 minutos, con agitación continua. Enfriar
- Adicionar 0,5 ml de solución I y 0,5 de solución II agitando el balón
- De ser necesario repetir el paso anterior cuantas veces sean necesarias hasta obtener una solución transparente y cristalina.
- Aforar el balón con agua destilada.
- Centrifugar y filtrar. Desechar los primeros ml del filtrado
- Llenar el tubo a 200 mm con el filtrado y leer en el polarímetro

PARA EL BLANCO

- Pesar 5 g de muestra molida en un balón de 50 ml
- Agregar 40 ml de agua destilada y agitar por 15 minutos
- Adicionar 1 ml de la solución I y 1 ml de la solución II, agitar
- Aforar el balón con agua destilada, centrifugar en tubos y filtrar
- Tomar 25 ml del filtrado en un balón de 50 ml, añadir 1 ml de ácido clorhídrico al 25% y llevar a baño de agua hirviente por 15 minutos con agitación continua.
- Enfriar y aforar.
- Si la solución esta turbia centrifugar y filtrar.
- Llenar el tubo de 200 mm con el filtrado y leer en el polarímetro

CÁLCULOS

$$\% \text{ almidón} = (a - b) f$$

Dónde:

a= ángulo de rotación de la muestra, en grados

b= ángulo de rotación del blanco, en grados

f= factor del almidón

A1.4 Determinación de azúcares reductores empleando el método de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) (Miller, 1959).

En la determinación de azúcares reductores se utilizó ácido 3,5 dinitro salicílico (DNS), reactivo que tiene la capacidad de oxidar a los azúcares reductores dando

resultados colorimétricos que se pueden medir a una longitud de onda de 540nm mediante la preparación de una curva de calibración de glucosa. Para esta determinación, una vez detenida la reacción, cada muestra se centrifugó a 10000 rpm durante 15 min, y a 1 ml del líquido claro se le adicionó 1 ml de solución DNS. La mezcla se calentó durante 5 minutos hasta ebullición, se enfrió y se midió la absorbancia de la muestra a 540 nm en un espectrofotómetro.

A1.5 Determinación de glucosa empleando el método de Trinder.

A cada uno de los tubos de ensayo que contienen alícuotas de 1 ml de la mezcla de reacción, agregar 1 ml del reactivo de glucosa y 7 ml de agua. Tapar y agitar suavemente el contenido de cada tubo de ensayo e incubar, cada uno de ellos, por un período de 10 minutos, a 37 °C

Medir la absorbancia a cada una de las disoluciones anteriores, a una longitud de onda de 500 nm.

Preparar la curva de calibración y calcular el contenido de glucosa en cada una de las muestras

A.1.6. Determinación de fructosa y glucosa directa

El total de glucosa y fructosa que se encontraban en estado libre se cuantificaron como azúcares reductores directos (ARD) por el método de Miller (1959). Posteriormente la glucosa se determinó por el método de Trinder (1969) y asumiendo que estos azúcares reductores directos en las muestras están constituidas por glucosa y fructosa, la fructosa se determinó indirectamente como la diferencia entre los ARD y la glucosa.

$$\text{ARD} = G + F$$

$$F = \text{ARD} - G$$

A.1.7. Determinación de viscosidad aparente (CYTED, 2000)

- a. Materiales y equipo
 - Agitador mecánico con paleta de acero inoxidable
 - Termómetro
 - Viscosímetro Brookfield con accesorios
- b. Método

Medir la viscosidad en un viscosímetro digital Brookfield model RTV DV – II, utilizando spindle N.-2 y a una velocidad de corte de 100 rpm; reportando los resultados en centipoises.

A.1.8. Determinación instrumental del color (Montatixe, 2005)

La característica más importante del color es la tonalidad que es el color en si mismo: rojo, amarillo, verde o azul. La luminosidad es el atributo de la sensación visual según el cual un vino parece más o menos luminoso. En cambio, el cromatismo o nivel de coloración está relacionado con la mayor o menor intensidad de color. La combinación de estos tres conceptos permite definir los múltiples matices de color.

Las características cromáticas vienen definidas por las coordenadas colorimétricas o de cromacidad que son claridad (L), componente de color rojo/verde (a), componente de color amarillo/azul (b) y por sus magnitudes derivadas que son el croma C, el tono H y la cromacidad (C, H).

a. Equipos y Materiales

COLOR TEC PCM/PSM

Espátula

Cajas petri

b. Procedimiento

Homogeneizar la muestra

Colocar la muestra en la caja Petri y expandirla

Colocar la placa sobre una base de un solo color preferible negro

Realizar algunas mediciones en algunos lugares de la placa

**A1.2 Ficha de Catación para el Jarabe Obtenido a partir de la hidrólisis del
banano maduro**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
FICHA DE CATACIÓN PARA JARABE DE BANANO**



- Por favor marque con una **X** la alternativa que usted crea describe mejor al producto

Valor	PARÁMETROS			
	COLOR			
1	Ámbar rojizo			
2	Ámbar amarillo			
3	Ámbar oscuro			
4	Obscuro negro			
5	Obscuro café			
	AROMA			
1	Aromático			
2	Frutal			
3	Suave			
4	Vegetal			
5	Penetrante			
	SABOR			
1	Suave			
2	Dulce			
3	Ácido			
4	Astringente			
5	Amargo			
	VISCOSIDAD			
1	Viscoso			
2	Medianamente viscoso			
3	Ni líquido ni viscoso			
4	Medianamente líquido			
5	Líquido			
	ACEPTABILIDAD			
1	Me agrada mucho			
2	Me agrada moderadamente			
3	Ni me agrada ni me disgusta			
4	Me disgusta moderadamente			
5	Me disgusta mucho			

¡Muchas Gracias!