

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Desarrollo de un jarabe glucosado a partir del banano verde de descarte (*Musa paradisiaca*) del área de San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez

Trabajo de graduación presentado por Mariness Jurado Moreira para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de los Alimentos

Guatemala,

2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



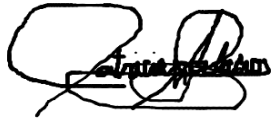
Desarrollo de un jarabe glucosado a partir del banano verde de descarte (*Musa paradisiaca*) del área de San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez

Trabajo de graduación presentado por Mariness Jurado Moreira para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de los Alimentos

Guatemala,

2023

Vo.Bo.




MSc. María Patricia Palacios Recinos de Palomo

Tribunal examinador:



MSc. Ana Alicia Paz



MSc. María Patricia Palacios Recinos de Palomo



MSc. Ana Silvia Colmenares

Fecha de aprobación del examen de graduación:

(Guatemala, 6 de diciembre de 2023)

Agradecimientos

A Dios, por darme la oportunidad de finalizar este trabajo, por darme paciencia, motivación y consistencia durante todo este tiempo.

A mis padres, Luisa y Luis, por su apoyo, esfuerzo, sacrificios, palabras de aliento y amor durante toda mi etapa universitaria, este trabajo es para ustedes.

A mi hermana, abuelos y resto de seres queridos que estuvieron involucrados durante los cinco años de formación, sin ellos no hubiera alcanzado este logro.

A mi asesora, por brindarme todos sus conocimientos durante esta etapa y por el tiempo dedicado a orientarme durante toda la investigación.

A mis amigos, por sus constantes palabras de apoyo y motivación y por todas las experiencias compartidas durante los años de la carrera.

Tabla de contenido

TABLA DE CONTENIDO	VI
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
RESUMEN.....	XII
I INTRODUCCIÓN	1
II MARCO TEÓRICO.....	2
A. BANANO	2
B. CÁSCARA DE BANANO	2
C. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL BANANO VERDE	2
D. CONTROL DE CALIDAD DEL BANANO	3
E. CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN DEL BANANO DURANTE LA MADURACIÓN	4
F. CONTENIDO DE LOS PRINCIPALES CARBOHIDRATOS EN DOS TIPOS DE BANANO.	4
G. ALMIDÓN	4
H. FUENTES TRADICIONALES DE OBTENCIÓN DE ALMIDÓN.....	5
I. USOS DEL ALMIDÓN.....	5
J. PRUEBA DE YODO	5
K. AMILOSA	5
L. AMILOPECTINA.....	6
M. JARABES DE MAÍZ	7
N. HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA	7
O. ALFA AMILASA	8
P. GLUCOAMILASAS	8
Q. HIDRÓLISIS ÁCIDA	8
R. REACCIÓN DE BENEDICT	8
S. CURVA DE MALTOSA	9
T. GLUCOSA	9
U. JARABES DE GLUCOSA	9
V. IMPORTANCIA DE LOS JARABES DE GLUCOSA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.....	9
W. VENTAJAS DEL JARABE DE GLUCOSA POR SU PODER EDULCORANTE.....	10

X.	JARABES DE FRUCTOSA.....	10
III	ANTECEDENTES	12
IV	JUSTIFICACIÓN	14
V	OBJETIVOS	16
A.	GENERAL.....	16
B.	ESPECÍFICOS	16
VI	METODOLOGÍA (MATERIALES Y MÉTODOS)	17
A.	SELECCIÓN DE BANANO.....	17
B.	ANÁLISIS PROXIMAL DEL BANANO	18
C.	EXTRACCIÓN CONVENCIONAL DE ALMIDÓN DE LA PULPA DE BANANO.	20
D.	EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE LA PULPA DEL BANANO CON LA APLICACIÓN DE LA ENZIMA PECTINASA.	21
E.	EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE BANANO MEDIANTE MÉTODO SECO	22
F.	CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN OBTENIDO.....	22
G.	OBTENCIÓN DE GLUCOSA A PARTIR DEL ALMIDÓN DEL BANANO	23
H.	DETERMINACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA HIDRÓLISIS.....	24
I.	ILUSTRACIONES PARA CADA ETAPA DE LA EXPERIMENTACIÓN.....	27
VII	RESULTADOS	35
A.	ANÁLISIS PROXIMAL A LA HARINA DE BANANO VERDE.....	35
B.	EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN CONVENCIONAL DE LA PULPA DEL BANANO VERDE.....	35
C.	EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE LA PULPA CON LA APLICACIÓN DE LA ENZIMA PECTINASA.	36
D.	CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LA PULPA DEL BANANO VERDE CON PECTINASA	37
E.	HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE LA PULPA DEL BANANO VERDE EXTRAÍDO CON PECTINASA.	40
F.	EFECTIVIDAD DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE LA PULPA EXTRAÍDO CON PECTINASA.	40
G.	EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DEL BANANO VERDE.....	43
H.	CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LA CÁSCARA DEL BANANO VERDE.	44

I.	EFFECTIVIDAD DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DEL BANANO VERDE.	47
J.	EFFECTIVIDAD DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DEL BANANO VERDE.	48
K.	ANÁLISIS CUALITATIVOS	53
VIII	DISCUSIÓN	55
IX	CONCLUSIONES	66
X	RECOMENDACIONES	67
XI	BIBLIOGRAFÍA	68
XII	ANEXOS	76
A.	DATOS ORIGINALES DEL ANÁLISIS DE HUMEDAD EN HARINA DE BANANO VERDE.	76
B.	DATOS ORIGINALES DEL ANÁLISIS DE GRASA EN HARINA DE BANANO VERDE.	77
C.	DATOS ORIGINALES DEL ANÁLISIS DE PROTEÍNA EN HARINA DE BANANO VERDE.	77
D.	DATOS ORIGINALES DEL ANÁLISIS DE PROTEÍNA EN HARINA DE BANANO VERDE.	78
E.	DATOS ORIGINALES DE LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE LA PULPA DE BANANO VERDE CON PECTINA.	79
F.	DATOS ORIGINALES DE LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE LA PULPA DE BANANO VERDE SIN PECTINA.	80
G.	DATOS ORIGINALES DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN OBTENIDO DE LA PULPA DE BANANO VERDE.	81
H.	DATOS ORIGINALES DE LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE BANANO VERDE.	81
I.	DATOS ORIGINALES DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE BANANO VERDE.	82
J.	CONTENIDO DE MALTOSA EN EL JARABE DE GLUCOSA DEL ALMIDÓN DE LA PULPA DEL BANANO VERDE.	83
K.	CONTENIDO DE GLUCOSA EN EL JARABE DE GLUCOSA DEL ALMIDÓN DE LA PULPA DEL BANANO VERDE.	84

Lista de tablas

Tabla 1 Composición nutricional del banano verde.	2
Tabla 2 Caracterización de las calidades del cultivo del banano de exportación (<i>Musa paradisiaca</i>).	3
Tabla 3 Reducción de almidón y aumento de azúcares durante la maduración del banano.	4
Tabla 4 Contenido de los principales carbohidratos en los bananos en estado verde y maduro.	4
Tabla 5 Ventajas del jarabe de glucosa.	10
Tabla 6 Disoluciones para curva de calibrado de la maltosa.	24
Tabla 7 Disoluciones para curva de calibrado de la glucosa.	26
Tabla 8 Resultados del análisis proximal de la harina de banano verde.	35
Tabla 9 Análisis estadístico de los pesos de almidón extraído de los bananos verdes.	35
Tabla 10 Análisis estadístico de los porcentajes de recuperación de almidón de los bananos verdes.	35
Tabla 11 Análisis estadístico de los porcentajes de rendimiento de almidón de los bananos verdes.	36
Tabla 12 Análisis estadístico de los pesos de almidón extraído con pectinasa de los bananos verdes.	36
Tabla 13 Análisis estadístico de los porcentajes de recuperación de almidón con pectinasa de los bananos verdes.	36
Tabla 14 Análisis estadístico de los porcentajes de rendimiento de la extracción de almidón con pectinasa de los bananos verdes.	37
Tabla 15 Prueba de yodo sobre el almidón extraído con pectinasa.	37
Tabla 16 Contenido de humedad por diferencia de pesos.	37
Tabla 17 Análisis estadístico para los pesos de cada tamiz con almidón de banano.	38
Tabla 18 Análisis estadístico para los pesos retenidos de almidón de banano en cada tamiz.	38
Tabla 19 Análisis estadístico para los porcentajes de retención de cada tamiz.	39
Tabla 20 Temperatura de gelatinización para el almidón de banano y características físicas.	39
Tabla 21 Análisis estadístico para los parámetros fisicoquímicos del jarabe de glucosa elaborado a partir de almidón extraído con pectinasa de la pulpa de banano verde.	40
Tabla 22 Análisis estadístico de los datos de rendimiento de la hidrólisis enzimática.	40
Tabla 23 Cambio de coloración en soluciones para determinar la presencia de azúcares reductores.	41
Tabla 24 Contenido de maltosa en las diluciones de 10mL de la curva de calibración.	41
Tabla 25 Lectura de absorbancia a 540 nm para la muestra de jarabe de glucosa.	42
Tabla 26 Contenido de maltosa en 10 mL de dilución de jarabe de glucosa.	42
Tabla 27 Contenido de glucosa en 10 mL de las diluciones de la curva de calibración.	42
Tabla 28 Lectura de absorbancia a 540 nm para la muestra de jarabe de glucosa.	42
Tabla 29 Contenido de glucosa en las muestras de jarabe de glucosa.	42

Tabla 30 Análisis estadístico de los pesos de almidón extraído de la cáscara de los bananos verdes.	43
Tabla 31 Análisis estadístico de los porcentajes de recuperación de la extracción de las cáscaras de bananos verdes.	43
Tabla 32 Análisis estadístico de los porcentajes de rendimiento de la extracción de las cáscaras de bananos verdes.	43
Tabla 33 Prueba de yodo sobre el almidón extraído de la cáscara de banano verde.	44
Tabla 34 Contenido de humedad por diferencia de pesos.	44
Tabla 35 Resultados estadísticos para los pesos de cada tamiz con almidón de cáscara de banano.	45
Tabla 36 Análisis estadístico de los pesos retenidos en cada tamiz.	45
Tabla 37 Análisis estadístico de los porcentajes de retención del almidón de cáscara de banano.	46
Tabla 38 Temperatura de gelatinización para el almidón de banano y características físicas.	46
Tabla 39 Análisis estadísticos para los parámetros fisicoquímicos del jarabe de glucosa elaborado a partir de almidón extraído de la cáscara de banano verde.	47
Tabla 40 Análisis estadístico de los datos de rendimiento de la hidrólisis enzimática.	47
Tabla 41 Cambio de coloración en soluciones para determinar la presencia de azúcares reductores.	48
Tabla 42 Lectura de absorbancia a 540 nm para las diluciones de la curva de calibración de maltosa.	49
Tabla 43 Contenido de maltosa en las diluciones de 10mL de la curva de calibración.	50
Tabla 44 Lectura de absorbancia a 540 nm para la muestra de jarabe de glucosa.	50
Tabla 45 Contenido de maltosa en 10 mL de dilución de jarabe de glucosa.	50
Tabla 46 Lectura de absorbancia a 540 nm para las diluciones de la curva de calibración de glucosa.	51
Tabla 47 Contenido de glucosa en las diluciones de 10mL de la curva de calibración.	52
Tabla 48 Lectura de absorbancia a 540 nm para la muestra de jarabe de glucosa.	52
Tabla 49 Contenido de glucosa en 10 mL de dilución de jarabe de glucosa.	52
Tabla 50 Lectura de absorbancia a 540 nm para las diluciones de la curva de calibración de glucosa.	84

Lista de figuras

Ilustración 1 Enrollamiento helicoidal de la amilosa.....	6
Ilustración 2 Estructura química de la amilopectina.....	7
Ilustración 3 Cartilla de color del estadio de maduración del banano (Musa paradisiaca).	17
Ilustración 4 Bananos en estado de maduración 1-2 utilizados para la experimentación.	27
Ilustración 5 Secado de rodajas de banano para realizar la harina de banano utilizada en el análisis proximal.	27
Ilustración 6 Pulpa de banano verde utilizada para la extracción de almidón.	28
Ilustración 7 Pulpa de banano licuada para la extracción de almidón.	28
Ilustración 8 Centrifugación de la pulpa de banano licuada.	29
Ilustración 9 Filtrado de la pulpa de banano centrifugada.	29
Ilustración 10 Residuo sólido proveniente de la filtración luego de la etapa de secado.	30
Ilustración 11 Trituración del almidón seco.	30
Ilustración 12 Análisis granulométrico del almidón de banano.....	31
Ilustración 13 Hidrólisis del almidón en baño maría.....	31
Ilustración 14 Jarabe de glucosa obtenido.	32
Ilustración 15 Concentración del jarabe de glucosa mediante evaporización.....	32
Ilustración 16 Medición de grados brix del jarabe de glucosa.....	33
Ilustración 17 Determinación de azúcares mediante prueba de Benedict después del calentamiento.	33
Ilustración 18 Medición de viscosidad del jarabe de glucosa.....	34
Ilustración 19 Prueba de yodo en almidón obtenido de la pulpa de banano.	53
Ilustración 20 Prueba de Benedict en jarabe de glucosa elaborado a partir de almidón de pulpa de banano.	53
Ilustración 21 Prueba de yodo en almidón obtenido de la cáscara de banano.	54
Ilustración 22 Prueba de Benedict en jarabe de glucosa elaborado a partir de almidón de cáscara de banano.	54

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un jarabe glucosado a partir del banano verde de descarte (*Musa paradisiaca*) del área de San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez, Guatemala. Se utilizó la pulpa y la cáscara como fuentes de obtención de almidón. En cuanto a la pulpa, se evaluaron dos distintos métodos de extracción, con y sin la aplicación de la enzima pectinasa. El almidón obtenido, se caracterizó a través de las pruebas de yodo, determinación de humedad, análisis granulométrico y determinación de temperatura de gelatinización. Posteriormente, se hidrolizó enzimáticamente para obtener el jarabe glucosado. Por consiguiente, se verificó la efectividad del proceso, a través de la determinación de azúcares reductores, curva de maltosa y de glucosa.

En cuanto a la extracción de almidón de la pulpa de banano, se logró establecer que con la aplicación de la enzima pectinasa se obtuvieron mejores resultados en cuanto a porcentajes de recuperación y rendimiento. Además, para la extracción de almidón de la cáscara se obtuvieron porcentajes aún más bajos que en la extracción de la pulpa.

Por otro lado, para la hidrólisis de almidón de la pulpa, se obtuvieron mejores características fisicoquímicas del jarabe y porcentajes de rendimiento que en la hidrólisis del almidón de la cáscara. Durante las pruebas de efectividad, se determinó que la hidrólisis del almidón de la pulpa fue parcial, debido al contenido de almidón resistente y a la relación de amilosa y amilopectina. Por el contrario, el almidón obtenido de la cáscara sí experimentó una hidrólisis completa.

I Introducción

En Guatemala, el banano contribuye en gran medida la economía del país, convirtiéndose en una de las mayores fuentes de ingresos de exportación y de empleos, por lo que, define al país como uno de los más grandes exportadores de banano en América Latina. Siendo el banano una fruta de fácil acceso en nuestro país, el almidón que se obtiene a partir de este lo convierte en una alternativa más para ser usada en la industria. Debido a que la exportación de banano se ha incrementado exponencialmente durante los últimos años, la generación de residuos también ha aumentado debido a que no cumple con los requerimientos internacionales para su exportación. Por esta razón, es de vital importancia el aprovechamiento del banano de rechazo para la elaboración de distintos productos (Frecia, 2014).

Se conoce que el banano en su estado verde contiene alrededor de 21% de almidón, lo cual lo convierte en una fuente potencial de este componente. Dentro de la industria alimentaria, el almidón es uno de los ingredientes que tiene una gran facilidad para reaccionar con otros componentes que lo rodean. Este es empleado en alimentos extruidos, rellenos de pasteles o en la elaboración de jarabes glucosados. Estos últimos son productos líquidos de consistencia viscosa que pueden sustituir a la sacarosa o pueden ser utilizados para la obtención de jarabes de fructosa. Se obtienen a partir del almidón, hemicelulosa y celulosa por hidrólisis (Decheco, 2019).

Por lo tanto, en la presente investigación se evalúa la posibilidad de desarrollar un jarabe glucosado a partir de la pulpa y cáscara del banano verde de descarte (*Musa paradisiaca*) del área de San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez, Guatemala. También se compara el rendimiento de la extracción de almidón con y sin el auxilio de la enzima pectinasa en la pulpa. Por último, los almidones obtenidos de la pulpa y de la cáscara son hidrolizados y se determina la efectividad del proceso a través de distintas pruebas.

II Marco teórico

A. Banano

Es una fruta tropical originaria de Asia, como su nombre científico lo indica, *Musa Paradisiaca*, es procedente de la planta herbácea perteneciente a la familia de las musáceas. Tiene una forma alargada ligeramente curvada, de 100-200 gramos de peso. La piel es gruesa, de color amarillo y fácil de pelar, y la pulpa es blanca o amarillenta con una consistencia carnosa. Esta fruta tiene una gran capacidad de producción en países Sur y Centroamericanos. Numerosos trabajos de investigación han reportado que el banano tiene un elevado potencial de utilización debido a su alto contenido de almidón y aceptables niveles de proteína. El banano en su estado verde, o estado 1-2, contiene un 21% de almidón, el cual se puede utilizar como materia prima para el desarrollo de jarabes de glucosa (Quitiguiña & Santacruz, 2012).

B. Cáscara de banano

La cáscara representa el 35-40% del fruto, generando residuos que son aprovechados para la fabricación de diferentes productos de valor agregado entre los que se encuentran la extracción de almidón para su aplicabilidad en la industria alimentaria (Melo et al., 2015).

C. Composición nutricional del banano verde

Por cada 100 g de porción comestible, esta contiene:

Tabla 1 Composición nutricional del banano verde.

Tipo de Compuesto nutricional	Cantidad del compuesto nutricional
Kilocalorías	110
Proteína	1.4 g
Grasa total	0.2 g
Carbohidratos	28.7 g
Fibra	0.5 g
Ceniza	0.7 g
Calcio	8 mg

Fósforo	35 mg
Hierro	0.9 mg
Tiamina	0.04 mg
Riboflavina	0.02 mg
Niacina	0.6 mg
Vitamina C	31 mg
Vitamina A	130

Fuente: (Soto, 2010)

D. Control de calidad del banano

Una vez cosechados los racimos, estos son transportados a la empacadora, en donde se realizan los procesos post cosecha y control de calidad de la fruta. Los parámetros de calidad a evaluar son el tamaño, grosor, presencia de enfermedades, insectos, daños y defectos. Cuando en las empacadoras no se llenan los requisitos de exportación, el banano se distribuye para consumo local, el cual, por lo general, se encuentra en su estado inmaduro (Melgar, 2013). A continuación, se presenta las dimensiones necesarias del cultivo del banano.

Tabla 2 Caracterización de las calidades del cultivo del banano de exportación (Musa paradisiaca).

Denominación en el mercado	Sección transversal (cm)	Sección longitudinal (cm)	Peso (g)	Vida de anaquel (días)
Grande	4.0 – 5.0	18.0 – 20.0	210 – 280	Maduro 2-3
Mediano	3.5 – 4.0	16.0 – 18.0	130 – 210	
Pequeño	2.7 – 3.5	14.0 – 16.0	100 – 130	

Fuente: (MAGA, 2008).

E. Cambios en la composición del banano durante la maduración

Tabla 3 Reducción de almidón y aumento de azúcares durante la maduración del banano.

Color	Características	Almidón	Azúcares
1	Verde	21.5-19.5	0.1-2.0
2	Verde con huellas de amarillo	19.5-16.5	2.0-5.0
3	Más verde que amarillo	18.0-14.5	3.5-7.0
4	Más amarillo que verde	15.0-9.0	6.0-12.0
5	Solo puntas verdes	10.5-2.5	10.0-18.0
6	Todo amarillo	4.0-1.0	16.5-19.5
7	Pequeñas áreas de color café	2.5-1.0	17.5-19.0
8	Grandes áreas de color café	1.5-1.0	18.5-19.0

Fuente: (González, 2017).

F. Contenido de los principales carbohidratos en dos tipos de banano.

Tabla 4 Contenido de los principales carbohidratos en los bananos en estado verde y maduro.

Contenido %	Banano verde	Banano maduro
Almidón	65.8	4.5
Azúcares solubles	10.1	71.6
Fibra cruda	3.9	3.6

Fuente: (Torres, 2017).

G. Almidón

El almidón es un carbohidrato que posee dos polisacáridos, los cuales son la amilosa y la amilopectina. La amilosa está formada de largas cadenas lineales de entre 200 y 2500 unidades de

glucosa. Mientras que la amilopectina contiene ramificaciones, cuyas ramas se unen por enlaces alfa. Generalmente los almidones tienen entre 17-27% de amilosa. Tanto la amilosa como la amilopectina influyen en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, debido principalmente a su capacidad de hidratación y gelatinización (Villaroel et al., 2018).

H. Fuentes tradicionales de obtención de almidón

El almidón es un polisacárido que se puede encontrar en una gran variedad de semillas de cereales, tales como maíz, trigo, arroz, sorgo, cuyo contenido va del 30 al 80%. También se puede encontrar en tubérculos como la papa, raíces como la yuca y la batata, semillas leguminosas como los frijoles, lentejas y guisantes, frutas como las manzanas y bananos (Frecia, 2014).

I. Usos del almidón

Dentro de la industria alimentaria, el almidón es uno de los ingredientes que tiene una gran facilidad para reaccionar con otros componentes que lo rodean. Este es empleado en alimentos extruidos y en rellenos de pasteles. También se utiliza como espesante en alimentos naturales y alimentos que no son sometidos a procesos rigurosos. El almidón de papa es uno de los más usados en la industria de alimentos ya que se emplea en la elaboración de alimentos para bebés, productos de repostería, pasteles y galletas debido a que no cambia su valor nutricional, solo sus propiedades físicas (Leiva, 2014).

J. Prueba de yodo

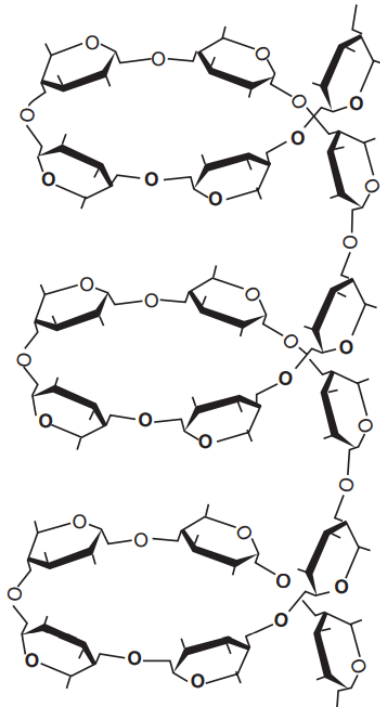
Esta es una reacción entre el yodo y el almidón, lo cual permite detectar la presencia de almidón en los alimentos. Esto es el resultado de la formación de las cadenas de poli yoduro enlazadas con el almidón en las hélices del polímero. Es decir, la amilosa del almidón se une a las moléculas del yodo, dando resultado a un color azul oscuro (Amaya, 2019).

K. Amilosa

Es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos $\alpha(1,4)$, que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D-(1,4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la α -maltosa.

Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa (Villaroel et al., 2018).

Ilustración 1 Enrollamiento helicoidal de la amilosa.

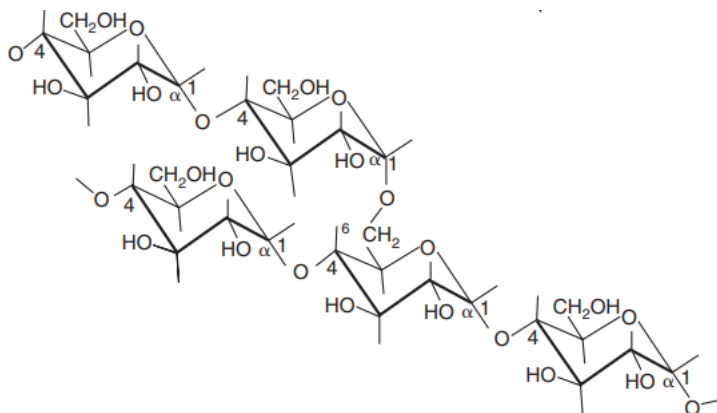


Fuente: (León et al, 2020).

L. Amilopectina

Esta molécula se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15.25 unidades de glucosa. Su peso molecular es muy alto, ya que algunas fracciones han llegado a alcanzar hasta 200 millones de dáltones (Villaroel et al., 2018).

Ilustración 2 Estructura química de la amilopectina.



Fuente: (León et al, 2020).

M. Jarabes de maíz

El jarabe de maíz se obtiene a partir de la hidrólisis completa del almidón del maíz seguida de una isomerización enzimática, mediante la glucosa isomerasa. De esta manera, parte de la glucosa se convierte en fructosa. Este producto presenta características físicas de un color transparente y una consistencia líquida. Se utiliza para la elaboración de galletas, cereales de desayuno, panificados, enlatados, aderezos y dulces debido a su higroscopicidad, humectación, reducida cristalización, fácil fermentación, reacción de Maillard y control del punto de congelación (Pérez, 2020).

N. Hidrólisis enzimática

La enzima α -amilasa hidroliza los enlaces glucosídicos α -1,4 de los polisacáridos que poseen 3 o más unidades de D-glucosa. Por otro lado, la amiloglucosidasa (también conocida como glucoamilasa) es una exohidrolasa que ataca la última unión glucosídica del extremo no reductor. Esta hidroliza los enlaces glucosídicos α -1,4 y α -1,6 de la amilosa y la amilopectina (Quitiguiña & Santacruz, 2012).

O. Alfa amilasa

Es una enzima que actúa a lo largo de cualquier punto de la cadena de carbohidratos, descomponiéndolos en dextrinas desde la amilopectina. Esta cataliza la hidrólisis de la cadena lineal (amilosa) y la ramificada (amilopectina) del almidón, rompiendo enlaces 1,4 interiores para formar una mezcla de dextrinas, por esta razón se le conoce como enzima dextrinogénica. Esta enzima es resistente al calor y actúa sobre almidones curdos y gelatinizados (Melgar, 2013).

P. Glucoamilasas

Es una enzima clasificada como exohidrolasa, debido a que se adhiere al enlace alfa (1,4), específicamente en las puntas no reducidas de la glucosa y de los fragmentos provenientes de la hidrólisis por la alfa-amilasa. Esta enzima es ideal para la hidrólisis enzimática porque su producción de glucosa es mayor en comparación con la hidrólisis ácida. Por lo tanto, la combinación de una α -amilasa y una glucoamilasa puede degradar completamente la amilopectina a glucosa y maltosa (Melgar, 2013).

Q. Hidrólisis ácida

Este proceso se lleva a cabo en presencia de ácido clorhídrico (HCl) o ácido acético (CH_3COOH), los mismo que catalizan la ruptura del enlace covalente para convertir el almidón en glucosa. Para la obtención de azúcares reductores, la concentración del ácido, el pH, la temperatura y el tiempo de hidrólisis son los parámetros de los cuales depende el grado de degradación (Chuquimarca, 2017).

R. Reacción de Benedict

Esta es una reacción que es capaz de detectar la presencia de azúcares reductores. Esta se basa en la reducción de Cu^{2+} a Cu^+ en medio básico débil. Es similar a la reacción de Fehling, sin embargo, el medio básico débil y el estabilizante (citrato sódico) hacen que esta reacción sea más sensible y estable. Si la reacción es positiva, se da la aparición de un precipitado rojizo, verde o amarillo (Nelson, 2007).

S. Curva de maltosa

La cuantificación de la maltosa se puede realizar a través de una curva de calibración. Esta es una representación gráfica que relaciona la señal que proporciona un instrumento con la concentración que mide de un analito en una muestra. Las curvas se realizan preparando soluciones de diferentes concentraciones conocidas, las cuales son medidas a través de un espectrofotómetro. Las señales obtenidas son colocadas en un gráfico de señal vs concentración. En la mayoría de los casos se pretende tener una relación lineal con un coeficiente de correlación mayor a 0.95 (Skoog et al., 2014). Con respecto a la maltosa, se utiliza un compuesto como el DNS para que pueda ser reducido por esta y así producir un cambio de coloración a color café (Viteri et al., 2018).

T. Glucosa

Es una solución acuosa concentrada y refinada de D-glucosa, maltosa y otros polímeros obtenidos mediante la hidrólisis parcial controlada del almidón comestible. Por razones económicas, la mayor parte de jarabes de glucosa se producen a partir de almidón de maíz, sin embargo, también se puede obtener de papa, tapioca, trigo o frutas con un alto contenido de almidón (Morales, 2013).

U. Jarabes de glucosa

Los jarabes de glucosa son líquidos de consistencia viscosa que pueden sustituir a la sacarosa o pueden ser utilizados para la obtención de jarabes de fructosa. Se obtienen a partir del almidón, hemicelulosa y celulosa por hidrólisis. Estos pueden ser utilizados de acuerdo con sus diversas concentraciones en varias industrias tales como panadería, confitería, procesado de frutas, alimentos compuestos, bebidas alcohólicas, misceláneos, bebidas frías, entre otras (Decheco, 2019).

V. Importancia de los jarabes de glucosa en la industria alimentaria

El jarabe de glucosa es uno de los productos más utilizados por la industria confitera y de alimentos procesados. En el caso de los helados, el jarabe de glucosa aporta textura, brillo y disminuye la temperatura de congelación. En confitería, es utilizado como anticristalizante del azúcar, regulador del dulzor, generador de brillo, entre otros. En las carnes procesadas, incrementa el pardeamiento durante la cocción. Generalmente, los jarabes de glucosa tienen la capacidad de

bajar el punto de congelación de algunas soluciones, obtiene buena higroscopicidad y controla la coloración morena de los azúcares reductores en la superficie de la cocción (Gerena, 2013).

W. Ventajas del jarabe de glucosa por su poder edulcorante

Tabla 5 Ventajas del jarabe de glucosa.

Producto	Ventaja
Confitería	Es utilizado como agente que evita la cristalización y ayuda a homogenizar productos como gomas de mascar y chocolates. Aporta una textura lisa y tiene cualidad de buen preservante para una larga vida en estantería.
Mermeladas, gelatinas y frutas enlatadas	El jarabe de glucosa previene la cristalización del azúcar y previene la descomposición del producto sin incrementar su dulzura.
Productos de panadería	Añade cuerpo, volumen y una óptima edulcoración a los productos de panadería. También previene la cristalización y aumenta el tiempo de vida del producto.
Heladería	Aporta una textura suave y cremosa, asegura que los helados no se derritan pronto, previene la cristalización de la sacarosa y permite edulcoración homogénea.

Fuente: (Gerena, 2013).

X. Jarabes de fructosa

Los jarabes de fructosa son soluciones concentradas que contienen fructosa y glucosa. Estos se obtienen a través de la isomerización continua de la glucosa obtenida a partir del almidón de maíz. La isomerización es realizada mediante una catálisis enzimática, para la cual se usa la enzima

glucosa isomerasa inmovilizada en matrices empacadas en columnas. El uso de esta enzima inmovilizada permite que las concentraciones del catalizador sean altas para mantener su actividad durante más tiempo, lo cual incrementa el rendimiento del proceso (Millán et al., 2020).

III Antecedentes

En Guatemala, el banano ayuda de manera especial a la economía del país, convirtiéndose en una de las mayores fuentes de ingresos de exportación y de empleos, por lo que, define al país como uno de los más grandes exportadores de banano en América Latina. Aproximadamente, el 4% de toda la cosecha es descartada para su exportación. Todo este banano se vende en los mercados locales del país. El banano contiene hasta un 70% de almidón en base seca. Además, la cáscara también puede aprovecharse debido a que contiene un 50% de almidón en base seca, representando su potencial de uso gracias a que el proceso de obtención es de bajo costo. Siendo el banano una fruta de fácil acceso a nuestro país, el almidón que se obtiene a partir de este lo convierte en una alternativa más para ser usada en la industria. En la industria alimentaria, el almidón se usa para impartir una amplia gama de propiedades funcionales y es uno de los hidrocoloides más utilizados. Se utilizan en la elaboración de mayonesas, productos snacks, enlatados, sopas y salsas (Frecia, 2014).

Además, al almidón representa el ingrediente principal para la elaboración de jarabes glucosados. Estos productos son utilizados en la industria alimentaria para elaborar productos de confitería y alimentos procesados. En la producción de helados, el jarabe de glucosa aporta textura, brillo y disminuye la temperatura de congelación. En el área de confitería es utilizado como anticristalizante del azúcar y regulador de dulzor (Frecia, 2014).

El banano en su estado verde o estado 1-2, contiene un 21% de almidón. Específicamente, la hidrólisis del almidón es utilizada para fabricar edulcorantes (jarabes de glucosa) con la combinación de enzimas licuefactoras (α -amilasas) y sacarificantes (glucoamilasas). Melgar (2013) establece que el porcentaje de glucosa sintetizado a partir del almidón de banano de sobreproducción puede llegar a ser de hasta un 33% al utilizar la enzima α -amilasa en dilución 1:25 para realizar la hidrólisis, por lo que si puede obtenerse un alto porcentaje de rendimiento con respecto a una baja concentración de enzima. Además, en el estudio de “Determinación de los parámetros para la extracción de almidón de plátano bellaco (*Musa paradisiaca*)” se estableció que los factores de pulpa/solución y el tiempo de licuado puede afectar significativamente la extracción del almidón, llegando a la conclusión de que, el mayor rendimiento se puede obtener con las condiciones de concentración pulpa/solvente en 1:4 y 4 minutos de licuado (Frecia, 2014).

Cuando el banano se encuentra en un estado verde o 1-2, la concentración de almidón es mucho mayor que en un banano maduro, por lo que, en esta etapa es el momento óptimo para la

extracción de almidón. Actualmente es mínimo el aprovechamiento de la cáscara de banano, por lo que, al desecharlo, puede originar contaminación en el suelo, plagas, malos olores y contaminación de agua subterránea (Bonilla et al., 2015). Un estudio sobre el aprovechamiento de pulpa y cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) para la obtención de maltodextrina establecieron que el tratamiento enzimático con α -amilasa generó un efecto significativo sobre las propiedades químicas y reológicas del almidón obtenido a partir de la pulpa y la cáscara (Melo et al., 2015).

Además, de la hidrólisis enzimática, existe la hidrólisis ácida que también permite la extracción del almidón. Tejeda (2011) describe que sí existen resultados significativos de diferencia entre una hidrólisis ácida y una hidrólisis enzimática en la extracción de glucosa. Establece que con la hidrólisis ácida se pueden llegar a obtener entre 10 y 30g/L de glucosa, mientras que con la hidrólisis enzimática se pueden obtener 8.83 g/L, quedando abierta la posibilidad de obtener biocombustibles a partir de este tipo de residuos. Por el contrario, Rodríguez Reinoso (2011), en su estudio comparativo entre los métodos de hidrólisis ácida y enzimática de banano (*Musa Cavendish*) para la obtención de jarabe de glucosa, obtiene un mayor rendimiento en la hidrólisis enzimática, con un valor de 90.14%, que, en la ácida, con un valor de 53.14%. Además, reveló que el producto elaborado a partir de la hidrólisis ácida tuvo un porcentaje aproximado de 46% en dextrinas de 11, 10 y 8 unidades de glucosa, mientras que a partir de la hidrólisis enzimática se obtuvo una alta pureza de glucosa. Por consiguiente, la mayoría de los procesos que se realizan a través de la hidrólisis del almidón usan un proceso enzimático debido al buen control que se tiene en la formación de productos no deseables (Quitiguiña & Santa Cruz, 2012).

IV Justificación

La producción y comercialización de banano representa el 7.2 por ciento de las exportaciones agropecuarias del país (aproximadamente 60 millones de dólares) y genera más de 180 mil empleos directos e indirectos. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) estableció que Guatemala está ubicado como el tercer exportador mundial, detrás de Ecuador y Filipinas, al suministrar el 13% de la demanda. Además, el informe de Banana Market Review de la FAO publicó que el país exportó 2 millones 319 mil toneladas de banano (Jiguan, 2019). Así mismo, el Banco de Guatemala reportó que, para el año 2022, el ingreso de divisas por exportaciones fue de 936,748.5 miles de dólares (BANGUAT, 2022). Como se mencionó anteriormente, la principal producción de banano en Guatemala es destinada a la exportación, sin embargo, una parte de esta producción no cumple con los requisitos mínimos de calidad para que pueda ser exportado o con los estándares en selección y empaque, lo cual lo convierte en una fruta de rechazo que generalmente se venden en supermercados o mercados locales, lo cual representa aproximadamente un 15% de la producción total (Frecia, 2014).

El aprovechamiento de desechos agrícolas para la elaboración de nuevos productos es una alternativa viable para alcanzar las metas de sostenibilidad, ya que, además de brindar beneficios sociales y ambientales, es económicamente rentable. Debido a que la exportación de banano se ha incrementado exponencialmente durante los últimos años, la generación de residuos también ha aumentado debido a que no cumple con los requerimientos internacionales para su exportación. Si este banano tiene una mala disposición, puede generar proliferación de mosquitos, moscas, hongos y malos olores que afectan la salud de la población. Por esta razón, es de vital importancia el aprovechamiento del banano de rechazo para la elaboración de jarabes glucosados (Melgar, 2013).

En Guatemala no existe empresa nacional que se dedique a la fabricación de jarabes glucosados, por lo que, las industrias que necesitan de este producto se ven forzados a importarlo de diferentes partes del mundo. De acuerdo con el Ministerio de Economía de Guatemala, en el listado de incisos arancelarios, el jarabe de glucosa pertenece al inciso 1702.30.12.00. De acuerdo con este listado, los derechos arancelarios a la importación son de 0% para este producto (MINECO, 2022). Sin embargo, si existiera una empresa nacional que se dedicara a elaborar este tipo de productos, las industrias de confitería, panadería, entre otras, podrían evitarse largos tiempos de espera para recibir los jarabes de glucosa. También podrían evitarse complicaciones como la falta de entrega de los jarabes por cierre inesperados de puertos o por falta de abastecimiento. Además, representa una nueva oportunidad de desarrollo tanto para las bananeras, como para las demás industrias alimenticias. La utilización de este banano de rechazo para la elaboración de jarabes de

glucosa también puede representar un nuevo ingreso económico para las bananeras, ya sea si venden los bananos para que otras empresas fabriquen el jarabe o si ellos mismos se dedican a fabricarlo y venderlo. La producción del jarabe glucosado a partir del banano de rechazo mejora la sostenibilidad y puede generar más empleos para la población aledaña, brindando un mayor bienestar social y promoviendo el desarrollo de la región. Por lo tanto, la investigación de nuevos recursos para la extracción de derivados de almidón, tal como lo es el jarabe de glucosa, es una necesidad prioritaria (Melgar, 2013).

V Objetivos

A. General

Desarrollar un jarabe glucosado a partir del banano verde de descarte (*Musa paradisiaca*).

B. Específicos

- Realizar una extracción de almidón de la pulpa y cáscara del banano verde de descarte.
- Comparar la cantidad de almidón obtenido a través de extracciones con y sin el auxilio de la enzima pectinasa en la pulpa.
- Llevar a cabo una hidrólisis enzimática del almidón de la pulpa y cáscara del banano verde de descarte (*Musa paradisiaca*) para la obtención del jarabe glucosado.
- Realizar una caracterización fisicoquímica del jarabe glucosado.

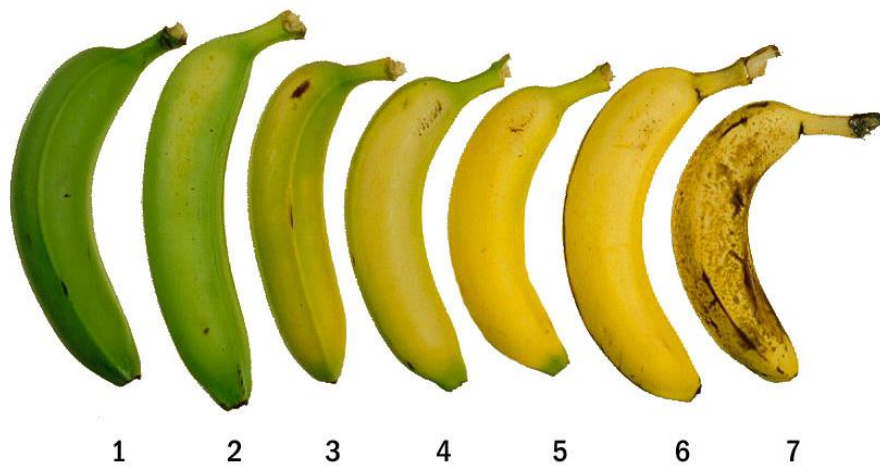
VI Metodología (materiales y métodos)

El desarrollo del jarabe glucosado a partir del banano verde de descarte se llevó a cabo en la planta piloto y en los laboratorios de la Universidad del Valle de Guatemala, haciendo uso de todos los equipos necesarios. Esta investigación presenta un enfoque de investigación mixto, ya que se evaluaron porcentajes de rendimiento y de recuperación en cada proceso y en las pruebas de identificación de almidón y efectividad de hidrólisis se evaluaron los cambios de color en las soluciones. Es importante mencionar que todas las pruebas se realizaron en triplicado.

A. Selección de banano

Se seleccionaron los bananos que estaban en un estadio de maduración 1-2, provenientes de la finca El Zambo, ubicada en San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez.

Ilustración 3 Cartilla de color del estadio de maduración del banano (Musa paradisiaca).



Fuente: (Edwards, 2018).

B. Análisis proximal del banano

Los análisis se realizaron en base a la harina de banano. Para obtenerla se siguió el siguiente procedimiento:

1. Lavar el banano.
2. Cortar el banano en hojuelas delgadas (aproximadamente de 2 mm).
3. Deshidratar a 45°C por 24 horas en un secador de bandejas.
4. Pulverizar y tamizar.
5. Almacenar en un envase cerrado herméticamente.

(AOAC, 2000).

1. Análisis de humedad

Se empleó un horno con circulación forzada de aire, a presión atmosférica o vacío, y una cápsula con tapa de aluminio. Para evaluar los pesos se utilizó una balanza analítica de sensibilidad 0.1 mg.

- Limpiar completamente las cápsulas y secarlas en un horno durante 2 horas.
- Enfriar las cápsulas en el desecador hasta temperatura ambiente.
- Pesar las cápsulas en una balanza analítica y registrar el valor. Toda la manipulación se debe hacer con pinzas para no influir en el peso.
- Pesar 5 g de muestra de harina en la cápsula
- Colocar la cápsula con la muestra en el horno de vacío a 70°C por 5 horas para acelerar el proceso de secado.
- Secar la muestra hasta llegar a masa constante.
- Cuando la muestra llegue a temperatura ambiente, pesarla después del secado.
- Calcular el porcentaje de humedad con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} * 100$$

(AOAC, 2000).

2. Análisis de ceniza

Se empleó un crisol limpio y seco a masa constante.

- Pesar el crisol y registrar su valor.
- Pesar 2 g de muestra en el crisol.
- Colocar el crisol con la muestra en una estufa dentro de una campana y quemar lentamente el material hasta que ya no desprenda humos. Importante realizar este paso sin que la muestra se caiga del crisol.
- Llevar el crisol a la mufla a 550°C y estar pendiente de que la temperatura no suba de 575°C.
- Si las cenizas no están blancas, se debe colocar el crisol sobre una estufa dentro de la campana y agregarle 3 mL de ácido nítrico concentrado, evaporar el ácido nítrico y poner el crisol en la mufla de 550°C.
- Cuando se enfríen las cenizas, registrar su peso.
- Calcular el porcentaje de cenizas en la muestra con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{\text{Peso de las cenizas}}{\text{Peso de la muestra inicial}} * 100$$

(AOAC, 2000).

3. Análisis de proteína

- Pesar 0.25 g de muestra y agregarla a un balón volumétrico.
- Colocar 1 tableta de Kjeldahl dentro del balón.
- Agregar 6 mL de ácido sulfúrico 95-97% al balón.
- Colocar y calentar en un digestor hasta obtener una solución traslúcida (aproximadamente 20 minutos).
- Agregar 250 mL de agua destilada al balón volumétrico.
- Agregar 50 mL de NaOH 40% al balón.
- Colocar en un Erlenmeyer 10 mL de ácido bórico al 4% y un indicador para recibir el destilado.
- Destilar hasta alcanzar un volumen de 150 mL.
- Titular con HCl 0.1N.
- Calcular el contenido de proteínas con la siguiente fórmula:

$$Proteinas = \frac{\left(14 \frac{g}{mol} * V1\right) * 100}{P} * 6.25$$

Donde:

N = normalidad del ácido clorhídrico

V_1 = volumen en mililitros de ácido clorhídrico utilizando en la determinación= ml de ácido por muestra- ml de ácido por blanco.

P = peso en gramos de la muestra empleada en el análisis

(AOAC, 2000).

4. Análisis de grasa

- Incorporar la muestra seca a un dedal de celulosa o envolver en papel filtro libre de grasa.
- Colocar el dedal en el tubo de extracción y adicionar el solvente al matraz previamente tarado.
- Extraer la muestra con solvente por 6 u 8 horas a una velocidad de condensación de 3-6 gotas por segundo.
- Cuando se complete la extracción, eliminar el solvente en rotavapor o evaporándolo bajo la campana hasta que se elimine todo el éter.
- Secar el matraz en una estufa a 105°C por 30 minutos.
- Dejar en enfriar en un desecador.
- Registrar el peso.

(AOAC, 2000).

C. Extracción convencional de almidón de la pulpa de banano.

1. Pesar aproximadamente 450 gramos de pulpa de banano verde.
2. Mezclar la pulpa con 700 mL de solución de bisulfito de sodio al 0.5% hasta que se homogenice.
3. Trasvasar la pulpa licuada a frascos de centrifuga y centrifugar por 10 minutos a 10 rpm.
4. Descartar el líquido sobrenadante y mezclar el residuo sólido con la solución de bisulfito de sodio al 0.5%.
5. Centrifugar nuevamente por 15 minutos a 20 rpm.
6. Descartar el líquido sobrenadante.

7. Filtrar el residuo sólido con papel filtro Whatman de grado 43 colocado en un embudo sobre una probeta por 24 horas.
8. Secar el residuo sólido a 140°F por 19:30 horas.
9. Pesar el residuo seco.
10. Triturar el residuo.

(Melgar, 2013).

D. Extracción de almidón de la pulpa del banano con la aplicación de la enzima pectinasa.

- Pesar aproximadamente 450 gramos de pulpa de banano verde.
 - Mezclar la pulpa con 700 mL de solución de bisulfito de sodio al 0.5% hasta que se homogenice.
 - Trasvasar la pulpa licuada a frascos de centrífuga y centrifugar por 10 minutos a 10 rpm.
 - Descartar el líquido sobrenadante y mezclar el residuo sólido con la solución de bisulfito de sodio al 0.5%.
 - Centrifugar nuevamente por 15 minutos a 20 rpm.
 - Descartar el líquido sobrenadante.
 - Trasvasar el residuo sólido a un beaker de 1 litro, colocarlo en un baño de agua con agitación a 35°C.
 - Cuando se alcance la temperatura de 35°C, adicionar 1 mL de la enzima Pectinex Ultra SP-L y dejar por una hora.
 - Después de una hora, filtrar el residuo sólido con papel filtro Whatman grado 43 colocado en un embudo sobre una probeta por 24 horas.
 - Secar el residuo sólido a 140°F por 19:30 horas.
11. Pesar el residuo seco.
 12. Triturar el residuo.

(Melgar, 2013).

E. Extracción de almidón de la cáscara de banano mediante método seco

1. Desechar las cáscaras que se encuentren en mal estado.
2. Lavar las cáscaras con agua fría y eliminar todas las impurezas, tales como polvo, basura, insectos, etc.
3. Desinfectar las cáscaras con hipoclorito de sodio al 1% por 15 minutos.
4. Raspar todo el aerénquima posible de la cáscara y sumergirla en una solución de ácido cítrico al 3% por 15 minutos.
5. Secar este producto en un desecador a 159°F durante 19:30 horas.
6. Luego del tiempo de secado, se licúa tritura para reducir la compactación de la masa obtenida.
7. Tamizar a través de tamices de tamaño 20, 60, 80, 100 y 120 para desintegrar los grumos formados durante el secado.

(Aguirre, 2021)

F. Caracterización del almidón obtenido

1. Prueba de yodo

- Preparar una disolución de yodo y yoduro de potasio al agregar 1 g de yodo y 0.5 g de yoduro de potasio a 100 mL de agua destilada.
- Agregar tres gotas de esta disolución al almidón obtenido.
- Si se torna a un color azul, indica la presencia de almidón.

(Amaya, 2019).

2. Determinación de humedad

- Calentar la estufa hasta llegar a una temperatura de 125°C.
- Pesar 2g de muestra y colocarlos sobre la estufa durante 1 hora.
- Luego de este periodo de tiempo, dejar que la muestra se enfríe.
- Pesar el residuo de harina para determinar la humedad de la muestra por diferencia de pesos.

(Cárdenas, 2018).

3. Análisis de granulometría

- Utilizar los tamices de 25, 40, 60, 80 y 100 y pesar cada uno
- Tomar 55 g de muestra y colocarlos sobre el tamiz de mayor apertura.
- Encender el tamizador de cascada y mantenerlo en agitación por 15 minutos.
- Luego de este tiempo, pesar nuevamente los tamices y por diferencia de pesos determinar el residuo de almidón en cada uno de ellos.

(Pérez Lavalle, 2019)

4. Determinación de la temperatura de gelatinización

- Preparar una suspensión de almidón al 5%.
- Colocar la suspensión en baño maría a 85°C con agitación constante.
- Colocar un termómetro dentro de la suspensión y observar detenidamente el valor de la temperatura a la cual la suspensión cambia su aspecto, es decir, cuando empiece a gelatinizar.

(Amaya, 2019).

G. Obtención de glucosa a partir del almidón del banano

1. Hidrólisis enzimática

- Tomar 25 g de almidón de banano y mezclarlos con 475 g de agua.
- Medir pH y asegurarse que sea de 5.5.
- Si el pH no corresponde a 5.5, modificarlo con ácido láctico.
- Llevar la mezcla a suspensión a 82°C con agitación constantemente.
- Completar la solubilización mediante calentamiento por 5 minutos.
- Colocar la solución en un baño maría a 85°C y adicionar 11 microlitros de la enzima alfa amilasa por un tiempo de 2 horas con agitación constante.
- Centrifugar el producto de la primera hidrólisis y recolectar el sobrenadante para iniciar la segunda hidrólisis.
- Ajustar el pH del sobrenadante a 4.2 con HCl 0.5N.
- Agregar 1 mL de la enzima amiloglicosidasa al sobrenadante y colocarlo en un baño maría a 60°C con agitación constante durante 14 horas.
- Concentrar la solución obtenida mediante evaporación por 1 hora.

H. Determinación de la efectividad de la hidrólisis

1. Determinación de azúcares reductores (Prueba de Benedict)

- Enumerar 5 tubos de ensayo.
- A cada tubo agregar 1 mL de agua (blanco), glucosa, sacarosa, almidón y la solución de interés.
- Agregar 2 mL del reactivo de Benedict y agitar bien.
- Calentar los tubos de ensayo en un baño de agua hirviendo por 5 minutos.
- Observar la formación de un precipitado rojizo.

(Nelson, 2007)

2. Determinación de contenido de maltosa a través de espectrofotometría

- Preparar una solución Stock de maltosa al 1% y realizar las siguientes diluciones.
- Preparar el reactivo DNS de Miller disolviendo 0.8 g de NaOH en agua destilada, luego adicionar 15 g de tartrato de sodio y potasio tetra hidratado y 0.5 g de DNS (ácido 3,5-dinitrosalisílico).
- Aforar la mezcla a 50 mL con agua destilada.
- Almacenar en un frasco ámbar a 4°C.
- Elaborar los estándares para la curva de calibración en balones de 50 mL con la siguiente tabla:

Tabla 6 Disoluciones para curva de calibrado de la maltosa.

Dilución	Concentración (mg/mL)	Volumen stock (mL)	Volumen H ₂ O (mL)
0	1.2500	0.6250	1.875
1	1.0000	0.5000	2.000
2	0.7500	0.3750	2.125
3	0.5000	0.2500	2.250
4	0.2500	0.1250	2.375
Blanco	0.0000	0.0000	2.500

Fuente: (Vidal, 2018).

- Aforar los balones con agua destilada.

- A un tubo de ensayo de 10 mL añadir 1 mL de DNS y 1 mL de cada solución de los estándares y llevar a punto de ebullición por 15 minutos.
- Colocar durante 5 minutos en un baño de hielo para detener la reacción y después a temperatura ambiente por 5 minutos.
- Aforar los tubos de ensayo con 8 mL de agua destilada.
- Leer la absorbancia de las muestras en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm.
- Graficar concentración vs absorbancia.

(Vidal, 2018).

3. Determinación de contenido de glucosa a través de espectrofotometría

- Preparar una solución stock de glucosa a 100 ppm.
- Preparar el reactivo DNS de Miller disolviendo 0.8 g de NaOH en agua destilada, luego adicionar 15 g de tartrato de sodio y potasio tetra hidratado y 0.5 g de DNS (ácido 3,5-dinitrosalisílico).
- Aforar la mezcla a 50 mL con agua destilada.
- Almacenar en un frasco ámbar a 4°C.
- Elaborar los estándares para la curva de calibración en balones de 50 mL con la siguiente tabla:

Tabla 7 Disoluciones para curva de calibrado de la glucosa.

Dilución	Volumen stock glucosa (mL)	Volumen H₂O (mL)
Blanco	0.0	50.0
1	0.2	49.8
2	0.4	49.6
3	0.6	49.4
4	0.8	49.2
5	1.0	49.0
6	1.2	48.8
7	1.4	48.6
8	1.6	48.4
9	1.8	48.2
10	2	48.0

Fuente: (Palomino, 2018).

- Aforar los balones con agua destilada.
- A un tubo de ensayo de 10 mL añadir 1 mL de DNS y 1 mL de cada solución de los estándares y llevar a punto de ebullición por 15 minutos.
- Colocar durante 5 minutos en un baño de hielo para detener la reacción y después a temperatura ambiente por 5 minutos.
- Aforar los tubos de ensayo con 8 mL de agua destilada.
- Leer la absorbancia de las muestras en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm.
- Graficar concentración vs absorbancia.

(Palomino, 2018).

I. Ilustraciones para cada etapa de la experimentación.

Ilustración 4 Bananos en estado de maduración 1-2 utilizados para la experimentación.



Ilustración 5 Secado de rodajas de banano para realizar la harina de banano utilizada en el análisis proximal.



Ilustración 6 Pulpa de banano verde utilizada para la extracción de almidón.



Ilustración 7 Pulpa de banano licuada para la extracción de almidón.



Ilustración 8 Centrifugación de la pulpa de banano licuada.



Ilustración 9 Filtrado de la pulpa de banano centrifugada.

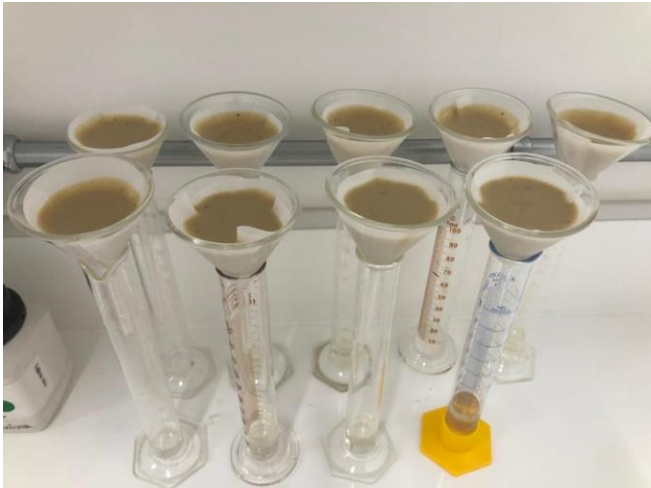


Ilustración 10 Residuo sólido proveniente de la filtración luego de la etapa de secado.

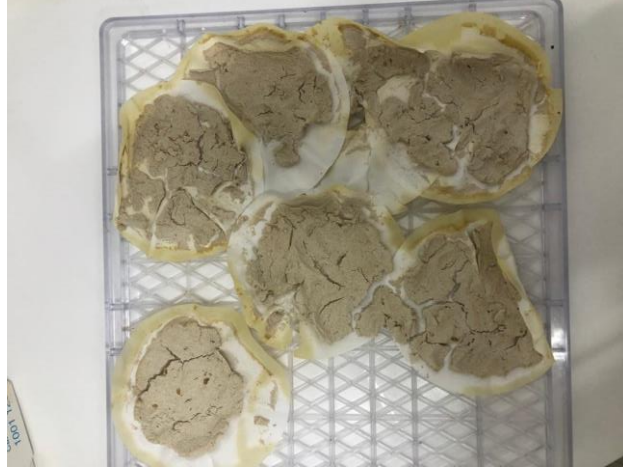


Ilustración 11 Trituración del almidón seco.



Ilustración 12 Análisis granulométrico del almidón de banana.

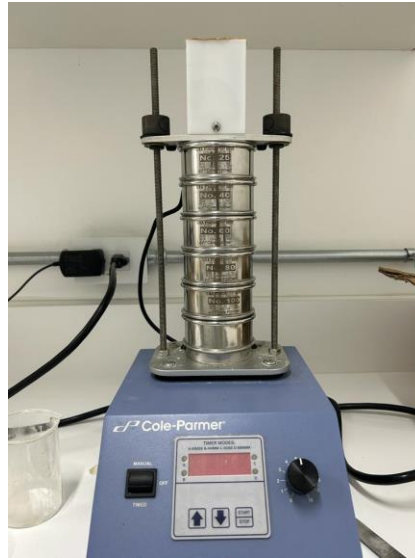


Ilustración 13 Hidrólisis del almidón en baño maría.



Ilustración 14 Jarabe de glucosa obtenido.

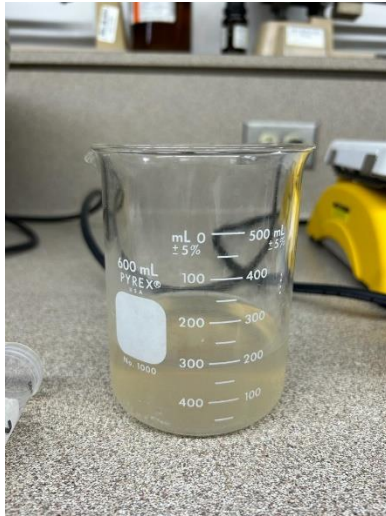


Ilustración 15 Concentración del jarabe de glucosa mediante evaporación.



Ilustración 16 Medición de grados brix del jarabe de glucosa.



Ilustración 17 Determinación de azúcares mediante prueba de Benedict después del calentamiento.

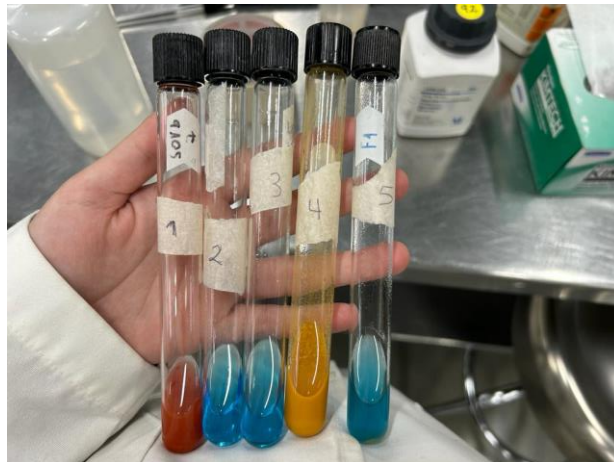


Ilustración 18 Medición de viscosidad del jarabe de glucosa.



VII Resultados

Los resultados de la experimentación fueron presentados a través del promedio obtenido luego de realizar cada prueba en triplicado. Para la obtención de estos resultados se utilizó la cristalería y equipos de la planta piloto de la Universidad del Valle de Guatemala.

A. Análisis proximal a la harina de banano verde.

Tabla 8 Resultados del análisis proximal de la harina de banano verde.

Análisis	Promedio	Desviación estándar
Humedad	2.61%	0.000603
Grasa	1.38%	0.00156
Proteína	5.43%	0.0129
Cenizas	4.85%	0.00137

Fuente: Elaboración propia

B. Extracción de almidón convencional de la pulpa del banano verde.

1. Pesos obtenidos de la pulpa de una docena de bananos verdes

Tabla 9 Análisis estadístico de los pesos de almidón extraído de los bananos verdes.

Promedio	122.7
Desviación estándar	5.149

Fuente: Elaboración propia

2. Porcentajes de recuperación y rendimiento de la extracción por el método convencional

Tabla 10 Análisis estadístico de los porcentajes de recuperación de almidón de los bananos verdes.

Promedio	49.18%
Desviación estándar	2.064

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 Análisis estadístico de los porcentajes de rendimiento de almidón de los bananos verdes.

Promedio	10.62%
Desviación estándar	0.4557

Fuente: Elaboración propia

C. Extracción de almidón de la pulpa con la aplicación de la enzima pectinasa.

1. Pesos obtenidos de la pulpa de una docena de bananos verdes

Tabla 12 Análisis estadístico de los pesos de almidón extraído con pectinasa de los bananos verdes.

Promedio	222.2
Desviación estándar	13.91

Fuente: Elaboración propia

2. Porcentaje de recuperación y rendimiento de la extracción con pectinasa

Tabla 13 Análisis estadístico de los porcentajes de recuperación de almidón con pectinasa de los bananos verdes.

Promedio	88.33%
Desviación estándar	0.04655

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 Análisis estadístico de los porcentajes de rendimiento de la extracción de almidón con pectinasa de los bananos verdes.

Promedio	22.93%
Desviación estándar	0.4846

Fuente: Elaboración propia

D. Caracterización del almidón extraído de la pulpa del banano verde con pectinasa

1. Prueba de yodo

Tabla 15 Prueba de yodo sobre el almidón extraído con pectinasa.

Muestra	Resultado
Almidón extraído con pectinasa	Positivo +

Fuente: Elaboración propia

2. Determinación de humedad del almidón extraído de la pulpa con pectinasa.

Tabla 16 Contenido de humedad por diferencia de pesos.

Contenido de agua (g)	0.30
Contenido de humedad	18%

Fuente: Elaboración propia

3. Análisis de granulometría del almidón extraído de la pulpa con pectinasa

Tabla 17 Análisis estadístico para los pesos de cada tamiz con almidón de banano.

Tamaño de abertura de cada tamiz	Peso promedio de almidón en cada tamiz	Desviación estándar de los resultados
25	144	1.35
40	88.2	1.00
60	83.6	0.306
80	83.2	0.252
100	81.1	0.322
Base	102	0.305

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Análisis estadístico para los pesos retenidos de almidón de banano en cada tamiz.

No. Mesh	Promedio	Desviación estándar
25	54.3	1.35
40	4.03	1.04
60	3.33	0.306
80	1.98	0.252
100	0.833	0.322
Base	0.467	0.306

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19 Análisis estadístico para los porcentajes de retención de cada tamiz.

No. Mesh	Promedio	Desviación estándar
25	83.5%	0.0207
40	6.21%	0.0160
60	5.13%	0.00470
80	3.03%	0.00387
100	1.28%	0.00495
Base	0.718%	0.00470

Fuente: Elaboración propia

4. Temperatura de gelatinización del almidón de la pulpa del banano verde.

Tabla 20 Temperatura de gelatinización para el almidón de banano y características físicas.

Temperatura de gelatinización (°C)	Características físicas
76.2	Denso, moderadamente gelatinoso, no tiene apariencia cristalina, color café pálido.

Fuente: Elaboración propia

E. Hidrólisis enzimática del almidón de la pulpa del banano verde extraído con pectinasa.

Tabla 21 Análisis estadístico para los parámetros fisicoquímicos del jarabe de glucosa elaborado a partir de almidón extraído con pectinasa de la pulpa de banano verde.

Parámetro	Promedio	Desviación estándar
pH	5.02	0.106
Grados Brix	36.2	3.42
Viscosidad (cP)	7.34	0.593
Volumen final (mL)	352	55.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 Análisis estadístico de los datos de rendimiento de la hidrólisis enzimática.

Promedio	70.3%
Desviación estándar	0.111

Fuente: Elaboración propia

F. Efectividad de la hidrólisis enzimática del almidón de la pulpa extraído con pectinasa.

1. Determinación de azúcares reductores (Prueba de Benedict)

Tabla 23 Cambio de coloración en soluciones para determinar la presencia de azúcares reductores.

Solución	Color	Conclusión
1 Glucosa	Rojizo	Sí hay presencia de azúcares reductores
2 Sacarosa	Azul	No hay presencia de azúcares reductores
3 Blanco	Azul	No hay presencia de azúcares reductores
4 Jarabe de glucosa	Amarillo mostaza	Sí hay presencia de azúcares reductores, pero en menor contenido
5 Almidón	Azul	No hay presencia de azúcares reductores

Fuente: Elaboración propia

2. Determinación del contenido de maltosa a través de espectrofotometría

Tabla 24 Contenido de maltosa en las diluciones de 10mL de la curva de calibración.

Dilución	Maltosa (mg)
1	12.1
2	11.2
3	7.89
4	3.47
5	1.57

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25 Lectura de absorbancia a 540 nm para la muestra de jarabe de glucosa.

Muestra	Concentración (mg/mL)	Absorbancia
1	0.100	0.123

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Contenido de maltosa en 10 mL de dilución de jarabe de glucosa.

Muestra	Maltosa (mg)
1	0.961

Fuente: Elaboración propia

3. Determinación del contenido de glucosa a través de espectrofotometría

Tabla 27 Contenido de glucosa en 10 mL de las diluciones de la curva de calibración.

Dilución	Glucosa (mg)
1	0.881
2	1.05
3	1.73
4	2.01
5	2.90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 Lectura de absorbancia a 540 nm para la muestra de jarabe de glucosa.

Muestra	Concentración (mg/mL)	Absorbancia
1	0.100	0.0970

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29 Contenido de glucosa en las muestras de jarabe de glucosa.

Muestra	Glucosa (mg)
1	19.6

Fuente: Elaboración propia

G. Extracción de almidón de la cáscara del banano verde

1. Pesos obtenidos de la cáscara de una docena de bananos verdes

Tabla 30 Análisis estadístico de los pesos de almidón extraído de la cáscara de los bananos verdes.

Promedio	23.05
Desviación estándar	2.997

Fuente: Elaboración propia

2. Porcentajes de recuperación y rendimiento de la extracción de las cáscaras de bananos verdes.

Tabla 31 Análisis estadístico de los porcentajes de recuperación de la extracción de las cáscaras de bananos verdes.

Promedio	53.35%
Desviación estándar	6.937

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32 Análisis estadístico de los porcentajes de rendimiento de la extracción de las cáscaras de bananos verdes.

Promedio	9.378%
Desviación estándar	0.7517

Fuente: Elaboración propia

H. Caracterización del almidón extraído de la cáscara del banano verde.

1. Prueba de yodo

Tabla 33 Prueba de yodo sobre el almidón extraído de la cáscara de banano verde.

Muestra	Resultado
Almidón extraído de la cáscara	Positivo +

Fuente: Elaboración propia

2. Determinación del contenido de humedad del almidón extraído de las cáscaras de bananos verdes.

Tabla 34 Contenido de humedad por diferencia de pesos.

Contenido de agua (g)	0.30
Contenido de humedad	1.0%

Fuente: Elaboración propia

3. Análisis de granulometría del almidón extraído de la cáscara de bananos verdes.

Tabla 35 Resultados estadísticos para los pesos de cada tamiz con almidón de cáscara de banano.

No. Mesh	Promedio	Desviación estándar
25	123	2.06
40	85.1	0.451
60	82.6	1.16
80	82.3	0.651
100	80.5	0.115
Base	102	0.351

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36 Análisis estadístico de los pesos retenidos en cada tamiz.

No. Mesh	Promedio	Desviación estándar
25	33.0	2.06
40	1.67	1.34
60	2.33	1.16
80	1.07	0.651
100	0.167	0.115
Base	0.433	0.351

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37 Análisis estadístico de los porcentajes de retención del almidón de cáscara de banana.

No. Mesh	Promedio	Desviación estándar
25	86.5%	0.0539
40	4.37%	0.0352
60	6.12%	0.0304
80	2.80%	0.0171
100	0.437%	0.00303
Base	1.14%	0.00922

Fuente: Elaboración propia

4. Temperatura de gelatinización del almidón de la cáscara de bananos verdes.

Tabla 38 Temperatura de gelatinización para el almidón de banana y características físicas.

Temperatura de gelatinización (°C)	Características físicas
76.4	Gel no tan estable, color café pálido, gel fluido

Fuente: Elaboración propia

I. Efectividad de la hidrólisis enzimática del almidón de la cáscara del banano verde.

Tabla 39 Análisis estadísticos para los parámetros fisicoquímicos del jarabe de glucosa elaborado a partir de almidón extraído de la cáscara de banano verde.

Parámetro	Promedio	Desviación estándar
pH	4.54	0.231
Grados Brix	29.2	1.05
Viscosidad (cP)	4.53	0.435
Volumen final (mL)	108	16.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40 Análisis estadístico de los datos de rendimiento de la hidrólisis enzimática.

Promedio	40.6%
Desviación estándar	0.0579

Fuente: Elaboración propia

J. Efectividad de la hidrólisis enzimática del almidón de la cáscara del banano verde.

1. Determinación de azúcares reductores (Prueba de Benedict)

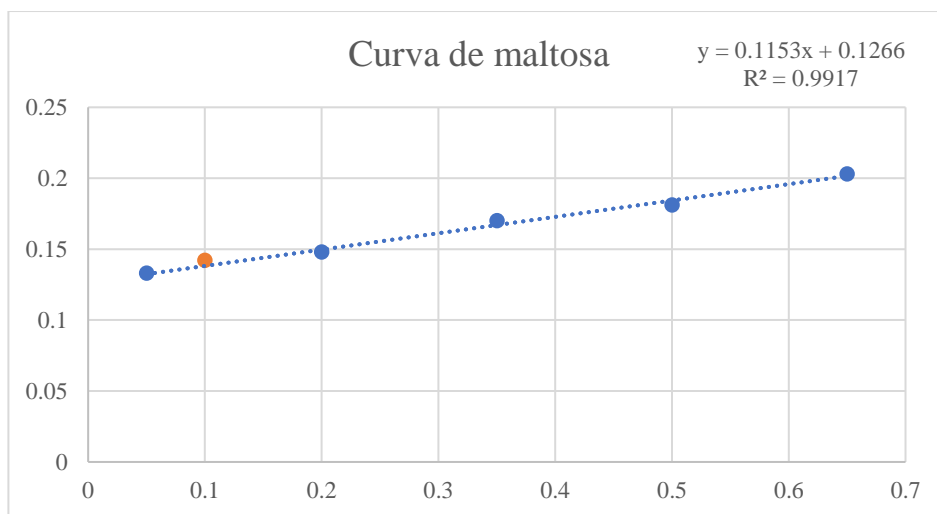
Tabla 41 Cambio de coloración en soluciones para determinar la presencia de azúcares reductores.

Solución	Color	Conclusión
1 Agua	Azul	No hay presencia de azúcares reductores
2 Glucosa	Rojizo	Sí hay presencia de azúcares reductores
3 Sacarosa	Azul	No hay presencia de azúcares reductores
4 Almidón	Azul	No hay presencia de azúcares reductores, pero en menor contenido
5 Jarabe de glucosa	Café pálido	Sí hay presencia de azúcares reductores

Fuente: Elaboración propia

2. Determinación del contenido de maltosa a través de espectrofotometría

Gráfico 1 Curva de maltosa.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 42 Lectura de absorbancia a 540 nm para las diluciones de la curva de calibración de maltosa.

Dilución	Concentración (mg/mL)	Absorbancia
1	0.650	0.203
2	0.500	0.181
3	0.350	0.170
4	0.200	0.148
5	0.0500	0.133

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43 Contenido de maltosa en las diluciones de 10mL de la curva de calibración.

Dilución	Maltosa (mg)
1	6.63
2	4.72
3	3.76
4	1.86
5	0.555

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44 Lectura de absorbancia a 540 nm para la muestra de jarabe de glucosa.

Muestras	Concentración (mg/mL)	Absorbancia
1	0.100	0.142

Fuente: Elaboración propia

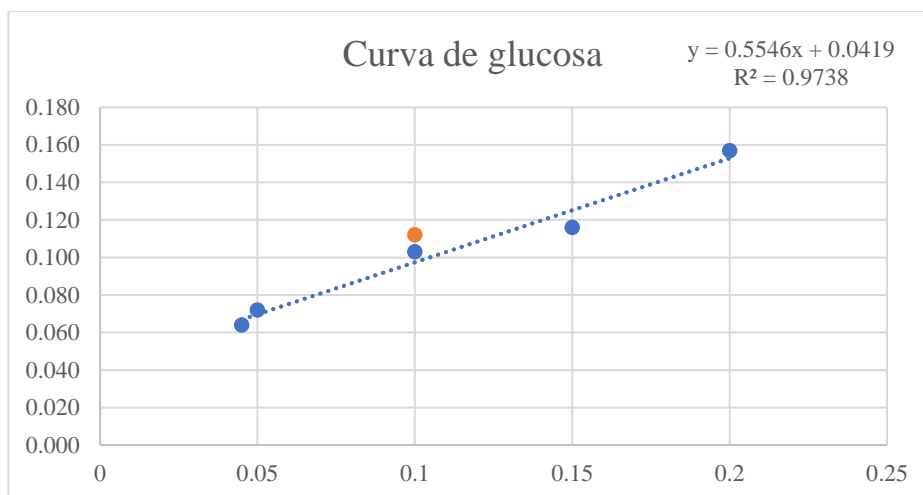
Tabla 45 Contenido de maltosa en 10 mL de dilución de jarabe de glucosa.

Muestras	Maltosa (mg)
1	1.34

Fuente: Elaboración propia

3. Determinación del contenido de glucosa a través de espectrofotometría

Gráfico 2 Curva de glucosa.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 46 Lectura de absorbancia a 540 nm para las diluciones de la curva de calibración de glucosa.

Dilución	Concentración (mg/mL)	Absorbancia
1	0.0450	0.0640
2	0.0500	0.0720
3	0.100	0.103
4	0.150	0.116
5	0.200	0.157

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47 Contenido de glucosa en las diluciones de 10mL de la curva de calibración.

Dilución	Glucosa (mg)
1	0.398
2	0.543
3	1.10
4	1.34
5	2.08

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48 Lectura de absorbancia a 540 nm para la muestra de jarabe de glucosa.

Muestras	Concentración (mg/mL)	Absorbancia
1	0.100	0.112

Fuente: Elaboración propia

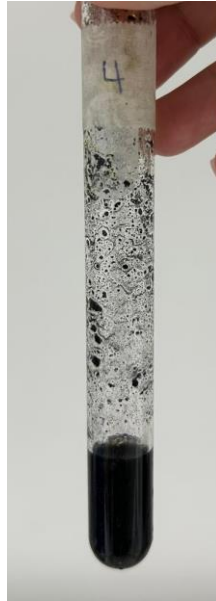
Tabla 49 Contenido de glucosa en 10 mL de dilución de jarabe de glucosa.

Muestras	Glucosa (mg)
1	1.26

Fuente: Elaboración propia

K. Análisis cualitativos

Ilustración 19 Prueba de yodo en almidón obtenido de la pulpa de banano.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20 Prueba de Benedict en jarabe de glucosa elaborado a partir de almidón de pulpa de banano.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 21 Prueba de yodo en almidón obtenido de la cáscara de banano.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22 Prueba de Benedict en jarabe de glucosa elaborado a partir de almidón de cáscara de banano.



Fuente: Elaboración propia

VIII Discusión

En esta investigación se elaboró un jarabe glucosado a partir del banano verde de descarte (*Musa paradisiaca*) del área de San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez. Para llevarlo a cabo, se realizó una extracción de almidón de la pulpa y de la cáscara del banano. En el caso de la pulpa, se compararon dos métodos de extracción, los cuales fueron con y sin el auxilio de la enzima pectinasa. Posteriormente se hidrolizó enzimáticamente el almidón para obtener el jarabe. Como etapa final, se realizó una caracterización fisicoquímica del jarabe glucosado obtenido.

Durante la primera parte de la experimentación, se llevó a cabo un análisis proximal a la harina del banano verde de descarte en base a los métodos oficiales de análisis de la Asociación Oficial de Químico Analistas (AOAC). En este análisis se evaluó el contenido de humedad, grasa, proteína y cenizas para cuatro muestras. En la sección 8 de Resultados, tabla 8, se evidenciaron los resultados del contenido de humedad para las 4 muestras y el análisis estadístico. Se determinó que el contenido de humedad en la harina del banano verde es en promedio 2.61% con una desviación estándar de 0.000603 para cuatro muestras. El análisis de grasa, proteína y cenizas se realizó en triplicado y los resultados se evidencian a través de las tablas 9, 10 y 11 respectivamente. Por lo tanto, para el análisis de contenido de grasa, se obtuvo un promedio de 1.38% y una desviación estándar de 0.00155 entre las muestras. En el análisis de proteína se logró determinar que para las tres muestras se obtuvo un promedio de 5.43% de proteína con una desviación estándar de 0.0129. Por último, el contenido de cenizas promedio fue de 4.85% con una desviación estándar de 0.00137.

En un estudio sobre la producción de harina de plátano se obtuvo que el contenido de ceniza fue de 3.07%, para la grasa de 0.24%, para la proteína de 3.41% y para la humedad de 10.06% (Melgar, 2016). Al no tener una diferencia significativa entre los resultados principales y los de la literatura mencionada, se puede establecer que la metodología llevada a cabo fue adecuada. Conocer sobre la composición química de la harina del banano verde de descarte proporcionó información útil para saber si alguno de estos componentes interferiría en la extracción del almidón.

Primero se realizó la extracción de almidón de la pulpa de banano, para que este posteriormente fuera hidrolizado y así se obtuviera el jarabe glucosado. A través de la Tabla 12 de la sección de Resultados se evidencian los resultados para la extracción de almidón convencional de la pulpa de banano verde. Se logró obtener un promedio de 122.71g de almidón con una desviación estándar de 5.1493. Generalmente, un valor de desviación estándar de 5.1493 se puede interpretar como una dispersión relativamente alta con respecto a la media. Sin embargo, bajo el

contexto de esta investigación, los datos muestran esta variación debido a que, en cada docena de bananos utilizados para cada extracción, las cantidades de pulpa sí presentaban una diferencia en el peso que no era significativa. A través de estas cantidades se calculó el porcentaje de recuperación de almidón con relación a la cantidad de almidón presentes en la pulpa del banano verde, la cual es de aproximadamente 21%. Por consiguiente, en la Tabla 13 se evidencia que, se obtuvo un promedio de 49.18% y una desviación estándar de 2.064. El valor de esta desviación indica que los resultados no se encuentran alejados entre sí. Además, el valor promedio del porcentaje de rendimiento también fue bajo, siendo este de 10.62%. Los porcentajes de recuperación de almidón se encuentran alrededor de un 73%, por lo tanto, se puede establecer, que los porcentajes de recuperación y rendimiento obtenidos en la experimentación no son satisfactorios. Esto se debe a que, los gránulos de almidón del banano se encuentran en el interior de las células que constituyen la pulpa, las cuales se unen entre ellas a través de sustancias pécticas. Estas sustancias son polímeros que rodean a las células proporcionándoles rigidez y textura, por lo que los gránulos de almidón también son atrapados por estas, lo cual dificulta su extracción y no permite la obtención completa del almidón contenido en la pulpa (Méndez de la Cruz, 2010).

Por lo recién mencionado, al añadir la enzima pectinasa se rompen estos enlaces y mejora el rendimiento de las extracciones. Por consiguiente, se realizó una extracción de este tipo. Este procedimiento dio como resultado un promedio de 222.2 g de almidón con una desviación estándar de 13.90. Con estas cantidades, también fue posible evaluar el porcentaje de recuperación de cada extracción con relación a la cantidad de almidón presentes en la pulpa del banano verde. Por lo tanto, se obtuvo un promedio de recuperación de 88.33% y una desviación estándar de 0.04655. Al comparar este resultado con los que se obtuvieron en el estudio realizado por Bello et al. (2014), se establece que la aplicación de la enzima pectinasa durante la extracción de almidón de banano verde sí mejora la eficiencia del proceso. Además, se puede agregar que, el banano de la especie *Musa paradisiaca*, en estadio 1-2 es una excelente fuente de obtención de almidón ya que los porcentajes de recuperación fueron mayores en comparación con la literatura. Las mejoras obtenidas en la extracción del almidón con pectinasa se deben a que esta enzima logra degradar completamente la pared celular del banano, dando lugar a la lisis, es decir, al rompimiento de la membrana celular, para así liberar al almidón (Maidana, 2019).

Las fuentes convencionales de almidón son los cereales y tubérculos, principalmente el maíz, trigo, arroz y papa. En el caso del maíz, el almidón es el principal componente, representando alrededor del 72% y 73% del peso del grano. En el trigo el almidón representa el 70% del grano y en el arroz el 25%. En el caso de los tubérculos como la papa, el contenido de almidón varía entre

15% y 20% de su peso (Rivera, 2017). Específicamente en el maíz, el porcentaje de recuperación puede variar debido a la variedad, pero en términos generales, este se encuentra entre 70 % y 75%. En cuanto al arroz, el porcentaje de recuperación de almidón es de aproximadamente 47% y para la papa de 8% (Ortega, 2019). A través de estos datos, se puede establecer que sí es recomendable realizar la extracción de almidón a partir de bananos en estado 1-2 ya que los porcentajes de recuperación en las fuentes convencionales, como el maíz, arroz y papa, son menores al porcentaje de recuperación de una fuente no convencional, como el banano, en base a su contenido de almidón.

Además, con las cantidades iniciales de la pulpa de cada prueba y las cantidades finales de almidón obtenido, se lograron obtener los porcentajes de rendimiento de cada extracción, los cuales se muestran en la Tabla 17 de la sección de Resultados. El promedio de porcentaje de rendimiento fue de 22.93%. A través de este resultado, se puede establecer que, en cuanto a las cantidades iniciales de materia prima, el rendimiento de las extracciones presenta valores bajos. Sin embargo, los procesos que utilizan fuentes comunes de almidón (maíz, yuca y papa), obtienen porcentajes de rendimiento que oscilan entre 30% y 40% (Rivera, 2017). Por lo tanto, se puede concluir que los porcentajes de rendimiento de la extracción de almidón del banano verde son aceptables y pueden representar una buena fuente de obtención de este componente.

Debido a que la extracción del almidón con pectina presentó mejores rendimientos, se procedió a caracterizarlo fisicoquímicamente. Para esta caracterización se realizó una prueba de Lugol, determinación de humedad, análisis granulométrico y determinación de temperatura de gelatinización. A través de la Tabla 18 se evidencia que la prueba de Lugol fue positiva, lo cual indica que la solución se tornó a un color azul, indicando la presencia de almidón. Además, en la Ilustración 19 se puede evidenciar el cambio de color que experimentó la solución del almidón obtenido al agregarle Lugol. Por lo tanto, se puede establecer que la metodología aplicada para la extracción con pectinasa presentó resultados satisfactorios.

Al almidón obtenido también se le realizó una determinación del contenido de humedad. En la Tabla 19 se observa que se obtuvo un contenido de humedad de 18%. Estudios realizados por Montoya et al (2014), establecen que los almidones obtenidos de banano aproximadamente tienen un contenido de humedad del 16.44%, por lo que no representa una diferencia significativa con los resultados obtenidos en esta investigación. La gelatinización del almidón ocurre mientras mayor sea el contenido de humedad. Este proceso es la transformación de los gránulos de almidón semicristalino en una matriz homogénea del polímero amorfo y en el rompimiento de los puentes de hidrógeno entre las moléculas de almidón de un lado y la despolimerización parcial de las moléculas del otro. Por lo tanto, si el contenido de humedad hubiera presentado valores mucho más

altos, se habría observado una disminución de la viscosidad debido a la ruptura de los enlaces glucosídicos (García, 2015).

Como parte de la caracterización fisicoquímica del almidón extraído se realizó el análisis granulométrico. Como se observa en los resultados, el tamiz de mesh No. 25 fue el que tuvo mayor capacidad de retención de almidón. Este mesh en específico tiene un tamaño de abertura de 0.707 mm, lo que quiere decir, que la mayor parte de las partículas de almidón tienen un tamaño mayor que la abertura mencionada, por lo que, no pudieron atravesar los agujeros del tamiz, dando como resultado un porcentaje de retención promedio de 83.54%. Conforme mayor es el número de mesh, menor es el tamaño de apertura de los agujeros de las mallas. Es por esto que, para los tamices con número de mesh 40, 60, 80 y 100, los porcentajes de retención fueron disminuyendo cada vez más. Un estudio realizado por Casarrubias et al. (2012) establece que el tamaño de los gránulos de almidón tiene una longitud promedio de entre 0.040 y 0.045 milímetros. Al comparar este tamaño con los que se obtuvieron en esta investigación, los cuales la mayor parte fueron mayores a 0.707 milímetros, se puede establecer que si existe una diferencia significativa entre ellos. Esta diferencia se puede deber a que, la reducción del tamaño de partícula del almidón fue hecho con un procesador y no con un triturador, el cual hubiera podido reducir su tamaño aún más.

La última prueba realizada para caracterizar el almidón fue la determinación de su temperatura de gelatinización. Luego de realizar una solución de almidón de banano al 5%, se determinó que su temperatura de gelatinización fue de 76.2°C. Como se observa en la tabla 23, el almidón gelatinizado tenía una consistencia densa, moderadamente gelatinoso, no tenía apariencia cristalina y tenía un color café pálido.

Luego de obtener el almidón de banano de la pulpa, se procedió a realizar la hidrólisis enzimática para obtener el jarabe glucosado. En la Tabla 24 de la sección de Resultados se pueden evidenciar los valores obtenidos para pH, grados brix, viscosidad y volumen final de los jarabes. En términos generales, los jarabes obtuvieron en promedio un pH de 5.02, 36.2°Brix, 7.34 cP de viscosidad y 353 mL de volumen final. Con respecto a la viscosidad, se puede establecer que este jarabe presentó un valor menor en comparación con jarabes comerciales elaborados a partir de almidón de maíz, ya que estos presentan valores aproximados de 74.0 cP. Esto se puede deber a la diferencia en el contenido de carbohidratos de bajo peso molecular que pueda contener cada uno. Ya que, a medida que aumenta la concentración de glucosa en un jarabe, la viscosidad tiende a aumentar. El almidón de banano es menos denso en glucosa que otros almidones, tales como el almidón de maíz. Sin embargo, contiene una proporción significativa de este componente. Al no tener la misma cantidad de glucosa que un jarabe de maíz, se puede establecer que, las moléculas

de glucosa, al interactuar entre sí y con el agua, no fueron capaces de crear una estructura suficientemente densa para que dificultara el movimiento de las moléculas del líquido y así fuera suficientemente viscoso (Montoya et al. 2014). Por lo tanto, se puede concluir que el valor de viscosidad de 7.34 cP es satisfactorio para el jarabe elaborado a partir de almidón de banano.

Los grados brix del jarabe también mantienen una relación directamente proporcional con la viscosidad. Es decir, entre mayor sea la concentración de azúcares, los enlaces de hidrógeno serán más fuertes y no permitirán el movimiento de las partículas. Como se mencionó anteriormente, el jarabe desarrollado en esta investigación obtuvo como valor final 36.20°Brix. Según la literatura, los jarabes glucosados a partir de almidón de banano presentan grados brix entre 45 y 50. Esto se puede deber a que, durante la etapa de sacarificación de la hidrólisis enzimática, ocurrió una hidrólisis parcial, en la cual, solo una parte del contenido de almidón fue convertido en azúcares por la presencia de otros productos de la hidrólisis, tales como los oligosacáridos. El tiempo de sacarificación fue de 14 horas debido a la disponibilidad de uso del baño maría. Para futuras experimentaciones, es recomendable un tiempo de sacarificación mayor a 14 horas, este debería ser entre 18 y 48 horas para garantizar la hidrólisis completa del almidón y así obtener resultados satisfactorios en cuanto a la cantidad de grados brix y viscosidad.

Los resultados anteriormente mencionados también se deben a la relación de amilosa-amilopectina. Durante la hidrólisis, la amilosa produce más azúcares simples, tales como la glucosa y maltosa, mientras que la amilopectina produce oligosacáridos más grandes y ramificados. Por lo tanto, al ser mayor el contenido de amilopectina en el almidón de banano, no se producen tantos azúcares simples, lo cual impacta en la dulzura y textura del producto final. Es por esto por lo que, los grados Brix no fueron tan altos como se esperaba. Por último, la viscosidad también es impactada por la relación de amilosa y amilopectina debido a que, la amilosa tiene a formar geles bastante viscosos. Por consiguiente, al tener un mayor porcentaje de amilopectina en el almidón de banano, no fue posible que este formara un gel estable.

Además, a través de la Tabla 25 se observan los resultados para el porcentaje de rendimiento de la hidrólisis con respecto a sus volúmenes iniciales. Estos datos dieron como resultado un promedio de 70.3% de rendimiento. Como indicaba la metodología, después de la hidrólisis enzimática, el producto obtenido se debía concentrar en una plancha por medio de evaporación hasta alcanzar los grados brix necesarios. Por lo tanto, fue en esta etapa donde hubo una gran pérdida de volumen del jarabe, ya que se eliminó la mayor parte de agua. Sin embargo, el porcentaje de rendimiento de este proceso todavía es satisfactorio.

Posterior a la realización de la hidrólisis enzimática del almidón obtenido de la pulpa de banano, se procedió a realizar una serie de distintas pruebas para determinar la efectividad de la hidrólisis. Esto consistió en determinar la presencia de azúcares reductores a través de la prueba de Benedict, una curva de maltosa y una curva de glucosa. Para la primera prueba, se utilizaron como muestras una solución de agua, almidón, sacarosa, glucosa y el jarabe elaborado. En la Tabla 26 e Ilustración 20 se pueden evidenciar los resultados respectivos. A través del cambio de coloración de las soluciones, se logró determinar que la solución de glucosa y de jarabe sí contenían azúcares reductores. La solución de glucosa cambió de un color azul a rojizo y la solución del jarabe se tornó a un color amarillo mostaza. En el caso de la solución de glucosa, el color rojo resultante de la prueba indica una alta concentración de azúcares reductores, tal como lo es la glucosa. Adicionalmente, con la muestra del jarabe, al tornarse a color amarillo, indica que la muestra sí tiene presencia de azúcares reductores. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el almidón de la pulpa fue hidrolizado parcialmente, por lo que solo ciertas cadenas del almidón fueron separadas, pero no se descompone completamente en productos más pequeños, tales como la glucosa y maltosa.

Otro de los parámetros que afectó la efectividad de la hidrólisis enzimática del almidón fue el almidón resistente presente. El banano verde tiene más almidón resistente que los bananos maduros y este tipo de almidón no es susceptible al ataque de las enzimas alfa amilasa y glucoamilasa. El almidón resistente tiene una estructura cristalina que forma enlaces glucosídicos que no permiten la acción de la enzima alfa amilasa, por lo tanto, esta enzima no puede entrar fácilmente a las cadenas de almidón. Además, el almidón resistente suele estar dentro de gránulos de almidón que tienen una mayor densidad y son menos permeables que el almidón normal. Es por esto por lo que, es más difícil para las enzimas amilolíticas que penetren y rompan eficazmente los enlaces en el interior del gránulo (Amaya, 2019). Por esta razón, se puede establecer que solo se dio una hidrólisis enzimática parcial en el almidón extraído de la pulpa de los bananos verdes.

El último factor que pudo haber afectado la totalidad de la hidrólisis enzimática fue el contenido de amilosa y amilopectina del almidón del banano. Estudios realizados por Zapata (2019), establecen que el almidón de banano verde contiene 20,43% de amilosa y 79,57% de amilopectina. La relación entre estos componentes puede afectar la hidrólisis enzimática por varias razones. Se establece que, un almidón con alto contenido de amilosa puede tener una hidrólisis a una mayor velocidad debido a que esta molécula está formada por cadenas lineales de glucosa. Sin embargo, ya que el almidón tiene una mayor proporción de amilopectina, la hidrólisis se vuelve

más lenta y necesita de más tiempo de reacción ya que esta molécula tiene una estructura ramificada, lo cual dificulta la acción de la enzima sobre las cadenas de almidón.

Para la siguiente parte de la determinación de la efectividad de la hidrólisis del almidón de la pulpa del banano, se determinó el contenido de maltosa a través de espectrofotometría. En la sección 6.2 de Resultados se pueden evidenciar todos los resultados obtenidos para la curva de calibración de maltosa. Luego de realizar varias pruebas para determinar en qué rango de concentración era posible realizar las lecturas de absorbancia, se evaluaron 5 diluciones de maltosa con concentraciones de 1.25, 1.00, 0.750, 0.500 y 0.250 mg/mL. Luego de leer las respectivas absorbancias para cada concentración y realizar la curva, se determinó el contenido de maltosa para cada una de ellas. En la Tabla 28 se observan los miligramos de maltosa para cada concentración mencionada, siendo estos de 12.1, 11.2, 7.89, 3.47 y 1.57 mg respectivamente. Además, luego de realizar varias pruebas con distintos factores de dilución para el jarabe realizado, se determinó que solo se podía leer la absorbancia de la muestra a una concentración de 0.100 mg/mL. Por lo tanto, se obtuvo que el valor de absorbancia para la muestra fue de 0.123, el cual se utilizó para determinar que los 10 mL de muestra contenían 0.96 mg de maltosa. Por lo tanto, 350 mL de jarabe contienen 33.40 mg de maltosa.

Adicionalmente se realizó la determinación de contenido de glucosa a través del mismo método espectrofotométrico. A través del Gráfico 2 se muestra la curva patrón junto al análisis de la muestra. Además, en la Tabla 34 se observa el contenido de glucosa en la muestra de jarabe a una concentración de 0.1 mg/mL, el cual fue de 19.6 mg. Por lo tanto, para el volumen final de 350 mL del jarabe obtenido, se puede establecer que contiene 687.40 mg de glucosa. Esta cantidad representa el 55% del contenido total. Según Bellaera et al. (2019), los jarabes de maíz contienen entre un 20% y 95% de glucosa. Por lo tanto, se puede establecer que el contenido de glucosa del jarabe elaborado a partir del almidón de la pulpa de banano tiene una cantidad satisfactoria de glucosa. Cabe destacar que, si se hubiera obtenido una hidrólisis completa, el contenido de glucosa hubiera sido aún mayor, mejorando la dulzura, textura y viscosidad del jarabe.

Luego de realizar todo el proceso mencionado anteriormente con la pulpa, se procedió a realizar el mismo, pero ahora con la cáscara. La primera parte consistió en realizar la extracción del almidón de la cáscara. Más específicamente, el almidón se extrajo del endocarpio del banano. El endocarpio es un tejido vegetal que se encuentra entre la cáscara y la pulpa del banano. Estas tiras son de gran importancia en los bananos debido a que en esta área se reserva una alta cantidad de almidón.

A través de la Tabla 35 se puede evidenciar que en promedio se obtuvo 23.05 g de almidón proveniente de la cáscara. Con este dato fue posible calcular el porcentaje de recuperación en base al contenido de almidón que hay en el aerénquima, el cual representa un 16%. Esto dio como resultado un promedio de 53.35%. Según un estudio realizado por Castillo et al. (2015) durante la extracción del almidón del endocarpio de las cáscaras, se obtuvieron porcentajes de recuperación entre 20% y 30%. Al comparar estos datos con los obtenidos en esta investigación, demuestra que el proceso de aislamiento recuperó una cantidad significativa de almidón. Las posibles variaciones en los resultados se pueden deber al estado de maduración en el que se encontraban los bananos que fueron utilizados.

Además, con base en el contenido inicial del endocarpio de cada extracción y el contenido final de almidón obtenido, fue posible calcular el porcentaje de rendimiento. En la Tabla 37 se evidencia que se obtuvo como resultado un promedio de 9.378%. Los porcentajes de rendimiento de las extracciones de almidón en cáscaras de banano oscilan entre 6% y 10% (Galán et al., 2018). Como se puede evidenciar, los porcentajes de rendimiento obtenidos en esta investigación se encuentran dentro del rango mencionado, por lo que se puede establecer que la cantidad de almidón obtenida de la cáscara de banano es satisfactoria. Además, al realizar una comparación de la extracción de la pulpa con la extracción de la cáscara, se puede concluir que se pueden esperar tanto, mejores porcentajes de recuperación como de rendimiento, de la pulpa del banano. Esto se debe a que la pulpa representa la mayor parte del fruto y, además, tiene un mayor contenido de almidón.

Luego de la extracción del almidón, se procedió a realizar las pruebas de yodo, determinación de humedad, análisis granulométrico y determinación de la temperatura de gelatinización para realizar una caracterización fisicoquímica del almidón obtenido de la cáscara de banano. En la Tabla 38 de la sección de Resultados se puede evidenciar que el resultado fue positivo para la prueba de yodo. Esto quiere decir que se logró formar el complejo de coordinación entre las micelas de almidón y yodo debido al cambio de coloración. Por lo tanto, se puede establecer que el método de extracción fue adecuado. Luego, en la Tabla 39 se puede observar la determinación de humedad. A través de las diferencias de pesos fue posible establecer que el almidón extraído de las cáscaras de banano tiene un contenido de agua de 0.02 g, equivaliendo a un 1% de contenido de humedad. El almidón obtenido mediante el método seco obtuvo contenidos de humedad entre 7% y 7.3% (Cárdenas 2018). La diferencia entre los contenidos de humedad mencionados se puede deber al estado de maduración de los bananos que fueron utilizados, ya que, la humedad de la cáscara tiende a disminuir a medida que el banano madura. Por lo tanto, se puede establecer que los

bananos utilizados en esta investigación se pueden haber encontrado en una transición de estado de maduración 2 a 3. Es por esto por lo que su contenido de humedad fue mucho menor al mencionado en la literatura.

La siguiente etapa de la caracterización fisicoquímica del almidón extraído de la cáscara fue el análisis granulométrico. A partir de la sección 8.3 de Resultados se pueden evidenciar los pesos retenidos en cada tamiz, sus respectivos análisis estadísticos y los porcentajes de retención para cada tamiz. Después de realizar las pruebas de tamizaje, los tamices 25, 40, 60, 80 y 100 tuvieron en promedio porcentajes de retención de 86.5%, 4.37%, 6.12%, 2.80% y 0.437% respectivamente. Al igual que con el almidón obtenido de la pulpa, se logró determinar que el tamaño de la mayoría de almidón es mayor a 0.707 mm.

La última prueba de caracterización del almidón obtenido de la cáscara fue la determinación de su temperatura de gelatinización. En la Tabla 43 se observa que en los 76.4°C el almidón se gelatinizó. Sin embargo, este no fue un gel tan estable, sino que presentaba fluidez y un color café pálido. La falta de consistencia gelatinosa del almidón se debe a la falta de humedad de este. Para que se dé la transición del líquido a un gel, el porcentaje de agua del almidón debe ser mayor a 14% y 16%. Como se mencionó anteriormente, el almidón tiene un 1% de humedad, por lo que, por este factor se puede establecer que la gelatinización no se dio de forma óptima. Además, es importante mencionar que como se obtuvo menor cantidad de almidón de la cáscara, la gelatinización no sería igual de pronunciada como en el almidón obtenido de la pulpa. Sin embargo, este aún podría ser utilizado como un recurso culinario.

Se procedió a realizar la hidrólisis enzimática del almidón para convertirlo en un jarabe glucosado. En la Tabla 44 se pueden observar el promedio y la desviación estándar para los parámetros fisicoquímicos. En general, el pH de los jarabes de glucosa derivados de cáscara de banano suele estar en el rango de 4 a 5 (Vidal, 2018). Por lo tanto, se puede establecer que los valores de pH obtenidos en los jarabes glucosados de esta investigación son resultados satisfactorios. En el caso de los grados brix, se obtuvo un promedio de 29.2. Los jarabes de glucosa obtenidos de la fuente más común, como el almidón de maíz, suelen tener grados brix mayores a 60. Sin embargo, en el caso de los jarabes glucosados derivados del almidón de banano, el rango de grados brix es entre 20 y 80. El jarabe obtenido en esta investigación se encuentra dentro del rango esperado, pero en los extremos mínimos. Esto se debe al poco contenido de almidón que tienen las cáscaras de banano.

Por otro lado, los valores de la viscosidad tuvieron un promedio de 4.53 cP. Según un estudio realizado por Hernández (2018), se demostró que jarabes fructosados a partir de banano tienden a una viscosidad entre 2.71 y 2.88 cP. Por lo tanto, se puede establecer que el jarabe glucosado de esta investigación presenta un valor de viscosidad levemente más alto. Esta diferencia de valores se debe al contenido de celulosa que hay presente en la cáscara, ya que este es un componente que puede contribuir significativamente a la viscosidad de las soluciones. La cáscara de banano tiene un 23.02% de celulosa presente (Giraldo et al., 2014), por lo que eso puede explicar el valor de viscosidad mayor al esperado. Como parte de las mediciones de la hidrólisis se determinó el rendimiento de cada una de ellas en cuanto a su volumen inicial, el cual en promedio fue de 40.6%. En comparación con los porcentajes obtenidos en la hidrólisis enzimática del almidón de la pulpa, se puede establecer que en la cáscara estos porcentajes fueron muy bajos. Esto se debe a que, en la etapa de concentración del jarabe por evaporación, había un exceso de agua en la solución, lo cual provocó que se perdiera más y, por consiguiente, la disminución del volumen total del jarabe.

La última etapa de la experimentación consistió en realizar pruebas para determinar la efectividad de la hidrólisis enzimática del almidón extraído de la cáscara de banano. Primero se determinó la presencia cualitativa de azúcares reductores a través de la prueba de Benedict. En la tabla 46 se pueden evidenciar las soluciones utilizadas para esta prueba y los resultados obtenidos. Como se observa, la muestra de jarabe de glucosa se tornó a un color café pálido, lo cual indica que en el jarabe existe una cantidad significativa de azúcares reductores, lo cual indica que la hidrólisis se realizó correctamente. Ya que se había identificado la presencia de azúcares reductores en el jarabe de glucosa, se procedió a cuantificarlos a través de una curva de maltosa y glucosa.

En el Gráfico 3 se observa la curva de maltosa junto a la muestra del jarabe de glucosa elaborado. A partir de la ecuación de la recta y de la absorbancia leída para la muestra, se determinó que el jarabe de glucosa, en una concentración de 0.100 mg/mL para 10 mL de solución, tiene 1.34 mg de maltosa, quedando dentro del rango de la curva de calibración. Por lo tanto, al hacer una relación con el volumen final promedio del jarabe, el cual es de 108 mL, se puede establecer que este contiene 14.36 mg de maltosa. Por otro lado, el Gráfico 4 muestra la curva de calibración de glucosa junto a la muestra de jarabe analizada en una concentración de 0.100 mg/mL. Para la muestra se obtuvo una absorbancia de 0.112 leída a una longitud de onda de 540 nm. Por lo tanto, se logró determinar que la muestra contenía 1.26 mg de glucosa, dando como resultado, en el volumen promedio final un contenido de glucosa de 13.61 mg. Como se puede evidenciar, en este jarabe hay una leve diferencia entre el contenido de maltosa y glucosa, siendo la maltosa la que se encuentra en mayor proporción. Esto es debido a que, durante la metodología propuesta para esta

hidrólisis, solo se hizo uso de la enzima alfa amilasa, lo cual provocó que solo se rompieran enlaces glucosídicos capaces de formar maltosa.

A través de los resultados anteriormente mencionados, se puede establecer que el jarabe elaborado a partir del almidón de la pulpa de banano verde presentó características fisicoquímicas y organolépticas satisfactorias al momento de comparar estos valores con un jarabe de glucosa comercial elaborado a partir de almidón de maíz. En el caso del jarabe de glucosa elaborado a partir de almidón de la cáscara de banano verde, se puede establecer que este jarabe no tuvo las características deseadas en este tipo de producto, esto debido a la falta de hidrólisis en el almidón.

IX Conclusiones

- Fue posible desarrollar un jarabe glucosado a partir de la pulpa y cáscara del banano verde de descarte (*Musa paradisiaca*) del área de San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez.
- Se determinó que la extracción de almidón de la pulpa de banano verde de descarte más efectiva fue con la aplicación de la enzima pectinasa, mostrando una diferencia significativamente alta con los porcentajes de recuperación y rendimiento.
- Se logró realizar una extracción de almidón de la cáscara de banano, específicamente del endocarpio, dando como resultado porcentajes de recuperación y rendimiento aceptables, ya que fueron los esperados según la literatura.
- Se determinó que el jarabe glucosado a partir del almidón de la pulpa del banano verde de descarte experimentó una hidrólisis parcial debido a que los resultados de grados brix y viscosidad fueron levemente menores a lo esperado.
- El jarabe glucosado elaborado a partir del almidón de la cáscara de banano verde se hidrolizó completamente debido a que los resultados fisicoquímicos se encontraban dentro de los rangos esperados.

X Recomendaciones

Para esta investigación, fue fundamental que el estado de maduración de los bananos se encontrara entre 1-2, por lo que se hizo una inspección visual con respecto al color de estos. Por lo tanto, para futuras investigaciones, se recomienda que la inspección del color de los bananos se realice con un colorímetro para obtener valores exactos y así determinar si los bananos cumplen con los parámetros requeridos. Otra posible recomendación es que, durante la hidrólisis enzimática de la pulpa de banano verde, este proceso sea prolongado hasta una duración de 48 horas debido a que con las 14 horas que se aplicaron en esta metodología no fue suficiente ya que el resultado fue una hidrólisis parcial. Adicionalmente, se puede recomendar disminuir el tamaño de partícula del almidón con un triturador para que así, el área de almidón esté mas expuesta y así las enzimas puedan hidrolizar completamente el gránulo.

XI Bibliografía

Amaya, L. (2019). *Propiedades fisicoquímicas y de digestibilidad de almidón de plátano (Musa paradisiaca L.) sometido a una modificación dual* [Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional].

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/9621/182.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Amaya, P. (2018). Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico. *Revista Colombiana de Química*. Vol. 48, No. 1.: <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.74469>

AOAC International: "Official Methods of Analysis". 17^aed. Gaithersburg, USA, 2000.

Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. Pearson Education de México, S.A. de C.V.
Frecia, V. (2014). Determinación de los parámetros para la extracción de almidón de plátano bellaco (*Musa paradisiaca*). *Revista de Investigación Universitaria*. Vol. 3 (2): 23-28. ISSN: 2078-4015.

Banco de Guatemala [BANGUAT]. *Ingreso mensual de divisas por exportaciones, 2016-2022*. <https://banguat.gob.gt/es/page/ingreso-mensual-de-divisas-por-exportaciones-2016-2022>

Bellaera, F., Hammerschmidt, J., Sanz, J., Zaccarello, D. & Beccio, B. (2019). Jarabe de maíz de alta fructosa, sus implicancias en la salud y la información disponible en el rotulado de los alimentos. *Revista Nutrición Investiga*.

Bello, J., Balois, R., Sumaya, M., Juárez, P., Rodríguez, A., Sánchez, L. & Jiménez, E. (2014). Extracción y caracterización reológica de almidón y pectina en frutos de plátano 'Pera' (*Musa ABB*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. No.8. p .1501-1507.

Cárdenas, M. (2018). *Extracción de almidón a partir de residuos de banano (Musa paradisiaca) para la elaboración de un biopolímero* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16241/1/UPS-CT007893.pdf>

Castillo, R., Escobar, E., Fernández, D., Gutiérrez, R., Morcillo, J., Núñez, N. & Peñaloza, S. (2015). Bioplástico a base de la cáscara de plátano. *Revista de Iniciación Científica*. No. 1.

Chuquimarca, D. (2017). *Determinación y cuantificación del almidón resistente a partir del banano verde de las especies: Musa paradisiaca, Musa cavendishii L, Musa cavandanaish* [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13897/1/T-UCE-0017-0083-2017.pdf>

Decheco, A. (2019). Obtención de jarabes glucosados a partir de cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca* L.) mediante hidrólisis enzimática de celulasas [Tesis de grado, Universidad Le Cordon Bleu]. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2019v6n1.005>

Edwards, D. (2018). Banana ripening chart. UC Davis. https://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Fruit_Spanish/?uid=5&ds=802

Frecia, V. (2014). Determinación de los parámetros para la extracción de almidón de plátano bellaco (*Musa paradisiaca*). *Revista de Investigación Universitaria*. Vol. 3 (2): 23-28. ISSN: 2078-4015.

Galán, V., Rangel, A., López, J., Pérez, B., Sandoval, J. & Souza, H. (2018). Propagación del banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. *Revista Brasileira de Fruticultura*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018574>

García, A. (2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz* [Tesis de grado, Escuela Especializada en Ingeniería]. <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf>

Gerena, F. (2013). Obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de residuos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis* l var valencia) Y PAPA (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12) para ser empleados como edulcorantes en la industria de alimentos [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia “UNAD”]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/1528/46455179pdf.pdf;jsessionid=C2280EA80C5DDA470E5CE5801A6D312D.jvm1?sequence=1>

Giraldo, J., Cuarán, J., Arenas, L. & Flórez, L. (2014). Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico. *Rev. Colomb. Investig. Agroindustriales*, 1(1), 7-21. DOI: <http://dx.doi.org/10.23850/24220582.109>

Gonzáles, L. (2017). *Elaboración de harina a base de banano verde para la formulación de pastas dirigidas a personas con intolerancia al gluten* [Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar]. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2017/02/07/Gonzalez-Lourdes.pdf>

Hernández, J. (2018). *Obtención de jarabe fructosado a partir de almidón de plátano (musa paradisíaca l.). Caracterización parcial.* Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000500011&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Jiguan, B. (25 de marzo de 2019). Guatemala es el tercer exportador de banano. *Diario de Centro América*. <https://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centro-america/guatemala-es-el-tercer-exportador-de-banano/>

Leiva, C. (2014). Extracción de almidón a partir de variedades de papa cultivadas en Nicaragua [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://ribuni.uni.edu.ni/1472/1/40038.pdf>

León, G., León, D., Monroy, M., De La Espriella, S. & Herrera, A. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Revista AVFT*. Vol. 39, No. 5. https://www.revistaavft.com/images/revistas/2020/avft_5_2020/17_modificacion.pdf

MAGA (2008). *Anuario estadístico de precios de productos e insumos agropecuarios 2008*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Unidad de políticas e información estratégica. Sistema de información de mercados. Guatemala.

Maidana, S. (2019). Extracción enzimática de polisacáridos de interés regional en la provincia de Misiones [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Misiones]. https://rid.unam.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12219/2389/MAIDANA%20Silvana%20Andrea_2019_%20Extracci%20enzim%20a%20de%20polisac%20a%20Iridos....pdf?sequence=1&isAllowed=y

Melgar Gil, A.J. (2016). *Evaluación del proceso de producción de harina de plátano (Musa paradisiaca L.) para la preparación de atol y su caracterización proximal y sensorial* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://core.ac.uk/download/pdf/45359404.pdf>

Melgar López, L. J. (2013). *Extracción de almidón de banano de sobreproducción para la síntesis de glucosa por medio de hidrólisis enzimático y evaluación para su uso como materia prima en la fabricación de medicamentos* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3470.pdf

Melo, D., Torres, Y., Serna, J. y Torres, L. (2015). Aprovechamiento de pulpa y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* spp) para la obtención de maltodextrina. *Rev.Bio.Agro.* Vol. 13 No 2. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612015000200009

Méndez de la Cruz, A. (2010). *Extracción de almidón del banano verde (Musa Sapientum variedad Cavendish) producto de desecho de las industrias bananeras y evaluación de su función como excipiente en la formulación de comprimidos* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QF1146.pdf>

Ministerio de Economía de Guatemala [MINECO]. (2022). *Arancel Integrado*. <https://www.mineco.gob.gt/interes/arancel>

Millán, Y., Gallardo, I., Sarría, F. y Pérez, M. (2020). *Purificación de jarabes glucosados mediante intercambio iónico para su posterior conversión a jarabes fructosados* [Universidad Central de Las villas]. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/377419/470723>

Montoya, J., Quintero, V. y Lucas, J. (2014). *Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (Musa acuminata AAA)*. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/38814/49448

Morales Martínez, M. M. (2013). *Síntesis de glucosa por hidrólisis ácida a partir del almidón de banano (Musa paradisiaca variedad Cavendish) para su uso farmacéutico* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala].

Nelson, D. (2007). *Lehninger: Principios de Bioquímica*. Editorial Omega. 5ª Edición.

Noriega, M. (2017). *Implementación de una metodología para la determinación de azúcares reductores por cromatografía líquida del alto rendimiento (HPLC) en jugos de caña y estudio*

comparativo con el método volumétrico Lane y Eynon en el laboratorio de calidad del Ingenio del Cauca S.A.S. [Tesis de grado, Universidad del Cauca].
<http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/4253/Implementaci%C3%B3n%20de%20una%20metodolog%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20azuc%C3%A1res%20reductores%20por%20cromatograf%C3%ADa%20de%20alto%20rendimiento%20%28HPLC%29%20en%20jugos%20de%20ca%C3%BA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Núñez, F. (2003). *Extracción y caracterización de almidón de banano verde y de su residuo de pulpa* [Tesis de grado, Universidad Zamorano].
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c1bc1021-7e98-47ae-a451-9a2e4333c6a7/content>

Ortega, M. (2019). *Elaboración de bioplástico a partir de paja y residuos de granos de arroz* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de Perú].
<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2810#:~:text=Para%20la%20obtenci%C3%B3n%20del%20almid%C3%B3n,y%2047.44%20%25%20respectivamente.>

Palomino, L. (2018). *Obtención de jarabe de glucosa por hidrólisis enzimática como proceso de valoración económica de residuos de la cáscara de plátano* [Tesis de grado, Universidad Alas Peruanas].
https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/6786/Tesis_obtenci%C3%B3n.Jarabe.Glucosa_hidr%C3%B3lisis%20Enzim%C3%A1tica_valoraci%C3%B3nEcon%C3%B3mica_residuos.C%C3%A1scara.Pl%C3%A1tano.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pérez Lavalle, L. (2010). *Evaluación de las fracciones granulométricas de la harina de sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) para la elaboración de pasta alimentaria* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70506/107403.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Quesada, M. y Hernández, A. (2012). Producción de jarabe de fructosa con enzimas inmovilizadas en un proceso continuo a partir de tiquisque (*xanthosoma sagittifolium*). *Ciencia y Tecnología*, 28(1 y 2): 13-24.

Quintiguiña, C. y Santacruz, S. (2012). Obtención de jarabe de glucosa a partir de la hidrólisis enzimática de almidón de banano, *Musa Cavendish*. *Revista Boliviana de Química*. Vol 29. (1). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426339677005>

Rivera, E. (2017). *Extracción y caracterización parcial de almidón de una fuente no convencional: raíz de calabacilla loca (Cucurbita foetidissima HBK)* [Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42099/K%2064586%20EU NICE%20RIVERA%20ANDRADE.pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42099/K%2064586%20EU%20NICE%20RIVERA%20ANDRADE.pdf?sequence=1)

Rodriguez Reinoso, C. E. (2011). Estudio comparativo entre los métodos de hidrólisis ácida y enzimática de banano (*musa cavendish*) para la obtención de jarabe de glucosa. *Colegio de Agricultura, Alimentos y Nutricion*, 1-39.

Salcedo, J., Montes, E., Zapata, J., Márquez, D. y Díaz, M. (2010). Obtención de jarabes de fructosa a partir de hidrolizados enzimáticos de almidón de ñame (*Dioscorea alata* y *Dioscorea rotundata*). *REVISTA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA FARMACÉUTICA*. Volumen 17 número 3. <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169815641002.pdf>

Skoog, D., West, D., Holler, F. y Crouch, S. (2014). *Fundamentals of analytical chemistry*.

Tejeda, L., Quintana, J., Pérez, J., & Young, H. (2011). Obtención de etanol a partir de residuos de poda, mediante hidrólisis ácida e hidrólisis enzimática. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 111-116.

Torres, G. (2017). Elaboración de harina a base de banano verde para la formulación de pastas dirigidas a personas con intolerancia al gluten [Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar].

<http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2017/02/07/Gonzales-Lourdes.pdf>

Vidal, E. (2018). Obtención de jarabe de glucosa por hidrólisis enzimática como proceso de valoración económica de residuos de la cáscara de plátano [Tesis de grado, Universidad Alas Peruanas].

https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/6786/Tesis_obtenci%C3%B3n.Jarabe.Glucosa_hidr%C3%B3lisis%20Enzim%C3%A1tica_valoraci%C3%B3nEcon%C3%B3mica_residuos.C%C3%A1scara.Pl%C3%A1tano.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Villaroel, P., Gómez, C., Vera, C. & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutrición*, Vol. 45 No. 3. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>

Viteri, A., Oña, N., Martínez, L. y Proaño, J. (2018). Curvas de calibración de maltosa y proteína. Determinación de la actividad enzimática de la alfa amilasa [Universidad de las Américas].

https://www.academia.edu/37934337/Curvas_de_calibraci%C3%B3n_de_maltosa_y_prote%C3%ADna_Determinaci%C3%B3n_de_la_actividad_enzim%C3%A1tica_de_la_alfa_amilasa

Zapata, D. (2019). *Evaluación de biopelículas formuladas a partir de almidón de banano verde (Musa paradisiaca) y yuca (Manihot esculenta) con gel de sábila (Aloe vera)* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1586/IND-ZAP-CRI-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

XII Anexos

A. Datos originales del análisis de humedad en harina de banano verde.

1. Pesos de la cápsula con muestra húmeda.

Muestra	Peso (g)
1	26.5885
2	25.7807
3	25.3611
4	25.7835

Fuente: Elaboración propia

2. Pesos de la cápsula con muestra seca.

Muestra	Peso (g)
1	25.9067
2	25.1174
3	24.6774
4	25.1078

Fuente: Elaboración propia

3. Porcentaje de humedad.

Muestra	Porcentaje de humedad
1	2.56%
2	2.57%
3	2.70%
4	2.62%

Fuente: Elaboración propia

B. Datos originales del análisis de grasa en harina de banano verde.

1. Peso inicial de grasa.

Muestra	Peso (g)
1	10.0328
2	10.0125
3	10.018

Fuente: Elaboración propia

2. Peso final de grasa.

Muestra	Peso (g)
1	0.1499
2	0.1444
3	0.1204

Fuente: Elaboración propia

3. Porcentaje de grasa.

Muestra	Grasa
1	1.49%
2	1.44%
3	1.20%

Fuente: Elaboración propia

C. Datos originales del análisis de proteína en harina de banano verde.

1. Peso de muestras.

Muestra	Peso (g)
1	0.2536
2	0.2517
3	0.2526

Fuente: Elaboración propia

2. Volumen de titulación

Muestra	Volumen (mL)
1	2.0
2	1.3
3	1.4

Fuente: Elaboración propia

3. Porcentaje de proteína

Muestra	Porcentaje de proteína
1	6.90%
2	4.52%
3	4.85%

Fuente: Elaboración propia

D. Datos originales del análisis de proteína en harina de banano verde.

1. Peso de muestras.

Muestra	Peso (g)
1	1.0047
2	1.0011
3	1.0009

Fuente: Elaboración propia

2. Peso de crisol con muestra.

Crisol + mx	Peso (g)
1	19.9013
2	27.9097
3	32.43

Fuente: Elaboración propia

3. Peso de crisol con muestra seca.

Crisol	Peso (g)
1	18.9466
2	26.9574
3	31.4762

Fuente: Elaboración propia

4. Peso de cenizas.

Muestra	Peso (g)
1	0.0500
2	0.0488
3	0.0471

Fuente: Elaboración propia

5. Porcentaje de cenizas.

Muestra	% Cenizas
1	4.98%
2	4.87%
3	4.71%

Fuente: Elaboración propia

E. Datos originales de la extracción de almidón de la pulpa de banano verde con pectina.

1. Pesos de la pulpa y almidón de banano verde.

Extracción	Peso de pulpa (g)	Peso del almidón extraído (g)
1	1120.20	234.70
2	1063.40	207.21
3	1108.03	224.65

Fuente: Elaboración propia

2. Porcentajes de recuperación.

Extracción	Porcentaje de recuperación
1	91.88%
2	83.06%
3	90.05%

Fuente: Elaboración propia

3. Porcentajes de rendimiento

Extracción	Porcentaje de rendimiento
1	22.80
2	23.46
3	22.52

Fuente: Elaboración propia

F. Datos originales de la extracción de almidón de la pulpa de banano verde sin pectina.

1. Pesos de la pulpa y almidón de banano verde.

Extracción	Peso de pulpa (g)	Peso del almidón extraído (g)
1	1114.34	123.44
2	1253.67	127.45
3	1105.39	117.23

Fuente: Elaboración propia

2. Porcentajes de recuperación.

Extracción	Porcentaje de recuperación
1	49.48
2	51.09
3	46.99

Fuente: Elaboración propia

3. Porcentajes de rendimiento

Extracción	Porcentaje de rendimiento
1	11.08
2	10.17
3	10.61

Fuente: Elaboración propia

G. Datos originales de la hidrólisis enzimática del almidón obtenido de la pulpa de banano verde.

1. Parámetros fisicoquímicos de los jarabes de glucosa.

Parámetro	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
pH	5.060	5.10	4.90
Grados Brix	36.60	39.40	32.60
Viscosidad (cP)	7.014	8.023	6.98
Volumen final (mL)	345.00	410.00	300.00

Fuente: Elaboración propia

2. Porcentajes de rendimiento.

Corrida	Porcentajes de rendimiento
1	69.00%
2	82.00%
3	60.00%

Fuente: Elaboración propia

H. Datos originales de la extracción de almidón de la cáscara de banano verde.

1. Pesos de la cáscara (aerénquima) y almidón de banano verde.

Extracción	Peso aerénquima (g)	Peso almidón seco (g)
1	231.55	19.83
2	256.41	25.76
3	247.31	23.55

Fuente: Elaboración propia

2. Porcentajes de recuperación.

Extracción	Porcentaje recuperación %
1	45.90
2	59.63
3	54.51

Fuente: Elaboración propia

3. Porcentajes de rendimiento.

Extracción	Porcentaje de rendimiento %
1	8.56
2	10.05
3	9.52

Fuente: Elaboración propia

I. Datos originales de la hidrólisis enzimática del almidón obtenido de la cáscara de banana verde.

1. Parámetros fisicoquímicos de los jarabes de glucosa.

Parámetro	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
pH	4.80	4.44	4.37
Grados Brix	28.1	30.2	29.3
Viscosidad (cP)	4.10	4.97	4.53
Volumen final (mL)	90.00	120.00	115.00

Fuente: Elaboración propia

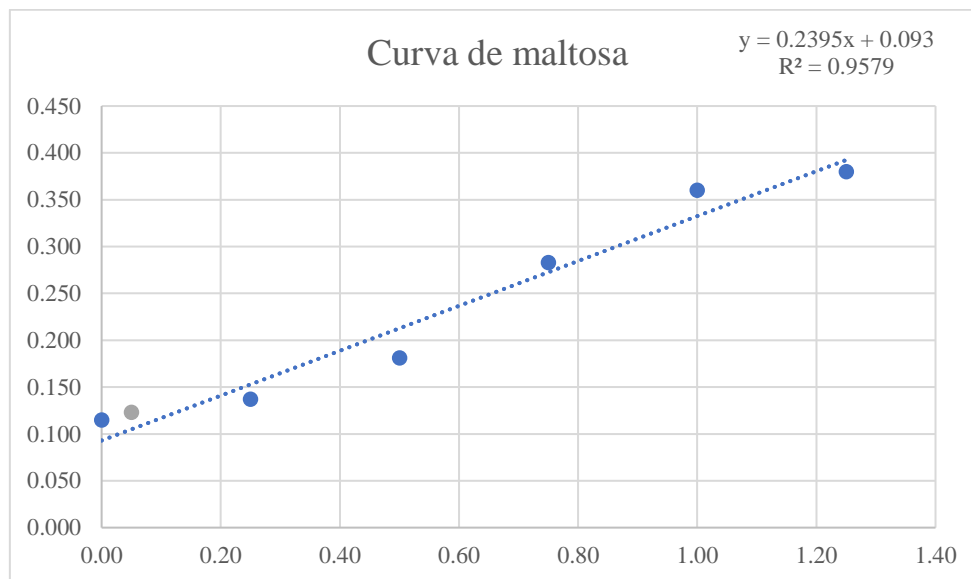
2. Porcentajes de rendimiento.

Hidrólisis	Porcentaje de rendimiento
1	34.49%
2	45.99%
3	41.39%

Fuente: Elaboración propia

J. Contenido de maltosa en el jarabe de glucosa del almidón de la pulpa del banano verde.

Gráfico 3 Curva de maltosa.



Fuente: Elaboración propia

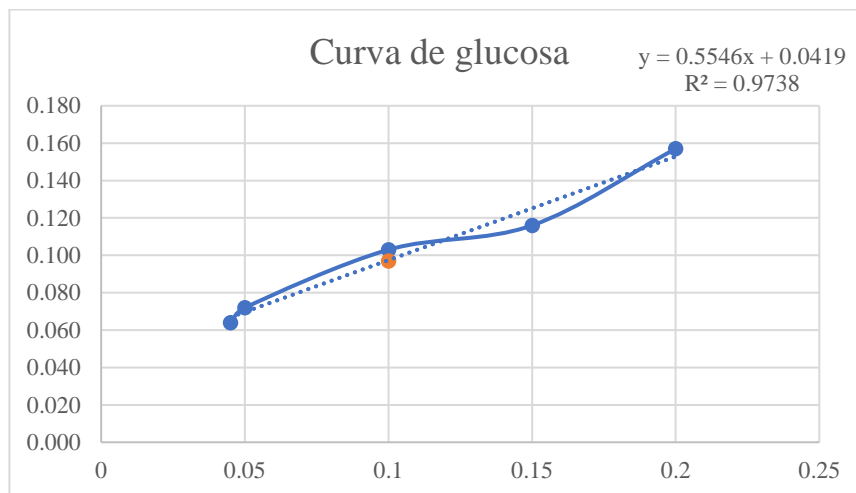
1. Lectura de absorbancia a 540 nm para las diluciones de la curva de calibración de maltosa.

Dilución	Concentración (mg/mL)	Absorbancia
1	1.25	0.380
2	1.00	0.360
3	0.750	0.283
4	0.500	0.181
5	0.250	0.137

Fuente: Elaboración propia

K. Contenido de glucosa en el jarabe de glucosa del almidón de la pulpa del banano verde.

Gráfico 4 Curva de glucosa.



Fuente: Elaboración propia

1. Lectura de absorbancia a 540 nm para las diluciones de la curva de calibración de glucosa

Tabla 50 Lectura de absorbancia a 540 nm para las diluciones de la curva de calibración de glucosa.

Dilución	Concentración (mg/mL)	Absorbancia
1	0.0450	0.0640
2	0.0500	0.0720
3	0.100	0.103
4	0.150	0.116
5	0.200	0.157

Fuente: Elaboración propia