

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Desarrollo de una línea de proceso de almidón derivado del banano  
nacional de exportación

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Alimentos**

Presentado por:

Juan Ricardo Ávila López

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2022

## DEDICATORIA

A mí abuelita, Piedad, quien fue una persona incondicional desde mi infancia hasta mi adultez y desde el cielo sigue siendo una luz que guía mi camino.

A mi hermana, Anahí, por ser el motor de mi inspiración y con sus inocentes palabras darme fuerzas para continuar día a día.

A mis padres, Ricardo y Clemencia, por ser el pilar fundamental de mi vida apoyándome en cada paso que he dado en mi formación académica y personal, siendo fuerza vital en cada momento que lo necesité con su amor y amparo incondicional.

Este logro no hubiese sido posible sin ustedes.

**Juan Ricardo Ávila López**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por su infinita protección y amor que me han permitido llegar a donde estoy y poder compartir este logro con mis seres queridos.

A mi tutor, PhD César Moreira y a los profesores, MSc Galo Chuchuca y PhD Sócrates Palacios, por la guía académica, paciencia y entusiasmo brindados a lo largo de este proyecto.

A mis amigos de la carrera, Melany, Katiuska, Ademir, Nidia, Anthony, Sheryl y Ginger, por hacer divertidos los días buenos y amenos los días pesados.

A mi familia, por brindarme su apoyo en los momentos que más lo he necesitado

Finalmente, a mis padres y hermana, por ser la base fundamental de todo lo que he logrado y lograré.

**Juan Ricardo Ávila López**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Juan Ricardo Ávila López* doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Juan Ricardo Ávila  
López

## **EVALUADORES**

**MSc. Galo Chuchuca Morán**  
PROFESOR DE LA MATERIA

**PhD. César Moreira Valenzuela**  
PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El sector bananero sufre un bloqueo en sus exportaciones debido a conflictos geopolíticos, lo cual ha generado una disminución en el precio de la caja de banano, afectando la economía de la industria bananera. Por otra parte, la industria del almidón no está desarrollada en el país, a pesar de que involucra ingentes cantidades de dinero. Se propuso utilizar la sobreoferta de banano para desarrollar una línea de proceso de almidón modificado mediante un método alcohólico-alcalino. El proceso comenzó a partir de banano de exportación, el cual fue transformado en harina de banano, de la que se extrajo almidón (nativo) para su posterior modificación. Los almidones nativo y modificado fueron caracterizados y comparados con la finalidad establecer diferencias significativas entre las muestras, a través de análisis de claridad y estabilidad al congelamiento. Finalmente, se realizó un diseño de planta y un cálculo de P.V.P con su respectivo punto de equilibrio. Los análisis de claridad y estabilidad al congelamiento no demostraron diferencias significativas entre las muestras. Se determinó que el área necesaria para el desarrollo de la línea productiva fue  $88,22m^2$ . El P.V.P. por kg de producto fue \$100,68 y se necesitaron 421 kg para llegar al punto de equilibrio. En conclusión, fue posible la conversión de la materia prima a almidón nativo y luego a modificado. Sin embargo, a pesar de que en los ensayos realizados se evidenció un menor porcentaje de agua liberada por parte del almidón modificado en comparación al almidón nativo, el resultado estadístico no fue concluyente.

**Palabras claves:** banano, nativo, almidón modificado, diferencia significativa.

## **ABSTRAC**

*The banana sector suffers from a blockade in its exports due to geopolitical conflicts, which has generated a decrease in the price of a box of bananas, affecting to the economy of the banana industry. On the other hand, the starch industry is not developed in the country, despite the fact that it involves huge amounts of money. It was proposed to use the oversupply of bananas to develop a modified starch processing line using an alcoholic-alkaline method. The process began with export bananas, which were transformed into banana flour, from which starch was extracted (native) for later modification. The native and modified starches were characterized and compared in order to establish significant differences between the samples, through the analysis of clarity and stability to freezing. Finally, a plant design and a P.V.P calculation with its respective break-even point were carried out. Clarity and freeze stability analyzes did not show significant differences between the samples. It was determined that the necessary area for the development of the production line was 88.22m<sup>2</sup>. The PVP per kg of product was \$100.68 and it took 27,190 kg to break even. In conclusion, the conversion of the raw material to native starch and then to modified starch was possible. However, despite the fact that the tests carried out showed a lower percentage of water released by the modified starch compared to native starch, the statistical result was not conclusive.*

**Keywords:** *banana, native, modified starch, significant difference.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRAC.....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Justificación del problema.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos .....	2
1.4 Marco teórico .....	2
1.4.1 Banano .....	2
1.4.2 Almidón de banano.....	4
1.4.3 Extracción de almidón .....	5
1.4.4 Usos del almidón en la industria .....	6
CAPÍTULO 2.....	8
2. METODOLOGÍA.....	8
2.1 Materia prima.....	8
2.1.1 Banano de exportación.....	8
2.2 Extracción química de almidón nativo de banano.....	8
2.2.1 Producción de harina de banano.....	8
2.2.2 Producción de almidón nativo mediante método químico.....	8
2.3 Modificación del almidón nativo de banano mediante método alcohólico-alcalino	9



2.4 Rendimiento de harina obtenida .....	9
2.5 Rendimiento de almidón obtenido .....	9
2.6 Caracterización fisicoquímica de la materia prima, harina de banano, almidón nativo y almidón modificado.....	9
2.6.1 Contenido de humedad .....	9
2.6.2 Claridad del almidón .....	10
2.6.3 Estabilidad al congelamiento y deshielo .....	10
2.7 Diseño de línea.....	10
2.7.1 Diagrama de flujo y recorrido.....	10
2.7.2 Relación de actividades.....	11
2.7.3 Determinación de espacios .....	12
2.7.4 Distribución de línea .....	13
2.8 Costos.....	13
CAPÍTULO 3.....	14
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	14
3.1 Rendimiento de harina de banano.....	14
3.2 Rendimiento de almidón nativo.....	14
3.3 Contenido de humedad.....	15
3.4 Claridad del almidón .....	16
3.5 Estabilidad al congelamiento y deshielo .....	16
3.6 Diseño de línea.....	18
3.6.1 Diagrama de flujo y recorrido.....	18
3.6.2 Relación entre actividades.....	20
3.6.3 Determinación de espacios .....	21
3.6.4 Distribución de línea .....	23
3.7 Costos.....	23
3.7.1 Costos variables, fijos y de producción.....	24

3.7.2 P.V.P .....	24
3.7.3 Punto de equilibrio .....	24
CAPÍTULO 4.....	25
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	25
4.1 Conclusiones .....	25
4.2 Recomendaciones .....	25
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	

## ABREVIATURAS

ANOVA	Análisis de la Varianza
CORELAP	<i>Computerized Relationship Layout Planing</i>
P.V.P.	Precio de Venta al Público
SLP	<i>Systemic Layout Planning</i>
T.R.A.	Tabla Relacional de Actividades
P.E.	Punto de Equilibrio
P.I.B.	Producto Interno Bruto

## SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
\$	Dólar estadounidense
$\alpha$	Alfa
°C	Grados Celsius
cm	Centímetro
g	Gramos
h	Hora
HCl	Ácido clorhídrico
l	Litro
ml	Mililitro
m	Metro
$m^2$	Metro cuadrado
M	Molar
min	Minuto
nm	Nanómetro
NaOH	Hidróxido de sodio
p/v	Peso/Volúmen
rpm	Revoluciones por minuto
Se	Superficie de evolución
Sg	Superficie de gravitación
Ss	Superficie estática

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Etapas de maduración de banano.....	3
Figura 3. 1 Porcentaje de transmitancia emitido por almidón nativo y modificado.....	16
Figura 3. 2 Porcentaje de agua liberada por almidón nativo y modificado.....	17
Figura 3. 3 Diagrama de flujo de almidón modificado de banano.....	19
Figura 3. 4 Diagrama de recorrido de almidón modificado de banano.....	19
Figura 3. 5 Diagrama de relación de actividades.....	21
Figura 3. 6 Diagrama de equipos de almidón modificado.....	22
Figura 3. 7 Layout codificado por el software CORELAP de planta productora de almidón modificado de banano.....	23
Figura 3. 8 Layout generado por el software CORELAP de planta productora de almidón modificado de banano.....	23

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Porcentaje de almidón resistente en productos vegetales.....	5
Tabla 2. 1 Simbología del diagrama de recorrido .....	11
Tabla 2. 2 Codificación de proximidad en relación de actividades .....	11
Tabla 2. 3 Motivo asociado a la relación entre actividades .....	11
Tabla 2. 4 Porcentaje asignado a cada relación.....	12
Tabla 3. 1 Rendimiento de harina de banano.....	14
Tabla 3. 2 Rendimiento de extracción de almidón nativo .....	14
Tabla 3. 3 Valor de humedad para harina y almidones .....	15
Tabla 3. 4 Agrupación de etapas del proceso .....	20
Tabla 3. 5 Cantidad de valoraciones asignadas a las interacciones entre las actividades .....	20
Tabla 3. 6 Área necesaria para cada actividad.....	22
Tabla 3. 7 Costos directos, indirectos y operativos mensuales .....	24

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del problema

En 2018, Ecuador fue el país con la mayor aportación de banano exportado al resto del mundo, con un 38% de producto (FAO, 2020). Sin embargo, en la actualidad, el conflicto bélico entre Rusia y Ucrania ha generado el cierre de los puertos y aduanas de estos países, lo que ha derivado en un decrecimiento de la exportación del banano ecuatoriano, ya que los países que se encuentran en conflicto representan el 25% del banano que Ecuador exporta al resto del mundo (AEBE, 2022). Este problema ha ocasionado una sobreoferta de banano a nivel nacional, ya que no se ha encontrado otro destino que pueda absorber el volumen del producto excedente, por lo cual se han presentado casos en los que la caja de banano se está comercializando debajo de su precio mínimo establecido, afectando la economía del sector bananero (El comercio, 2022). Finalmente, la poca oferta de productos procesados que utilicen al banano como materia prima, es otra situación desfavorable que la industria bananera debe enfrentar, ya que el deficiente desarrollo de la matriz productiva en el sector bananero genera que la economía de este producto dependa netamente del comercio del banano sin procesar ni valor agregado alguno (Jiménez et al., 2017).

### 1.2 Justificación del problema

Una forma eficaz de lidiar con el problema de la sobreoferta de una materia prima es dándole un valor agregado al producto. A través del cambio de la matriz productiva de un bien o servicio se logra aumentar su valor comercial en el mercado, generando un crecimiento económico para el entorno o industria que rodee a dicho producto (Reyes & Palacios, 2016). Además, se logra disminuir la cantidad de residuos e impacto ambiental al aminorar la proporción de materia prima excedente, transformándola en un nuevo alimento (Tonini et al., 2018).

Generalmente, en el área occidental del mundo, el banano es consumido en su estado natural. Sin embargo, a través de esta fruta se puede generar una gran

cantidad de productos alimenticios, como: harina, almidón, mermelada, cerveza, vino, helado y productos panificados (Aurore et al., 2009).

El almidón es un producto que se encuentra en tubérculos, legumbres y semillas. Este compuesto es de gran importancia en la industria alimentaria debido a las propiedades tecnológicas y funcionales que posee (Villaroel et al., 2018). El banano posee cantidades considerables de almidón en su composición y es uno de los alimentos que mayor cantidad de almidón resistente posee (Montoya et al., 2014). Este tipo de almidón es apetecido en el mercado ya que tiene la capacidad de mejorar las propiedades estructurales de los alimentos en los que es añadidos y también genera beneficios en la salud de los consumidores (Villaroel et al., 2018).

La intención de este proyecto es desarrollar almidón modificado a partir de banano con calidad de exportación que no logra comercializarse debido a la sobreoferta de materia prima que existe actualmente. Para lograr esto, se definirán los parámetros del proceso de extracción de almidón y su costo de producción. Finalmente, a través de una prueba sensorial se evaluará la aceptación general del almidón, incorporándolo en un producto alimenticio.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un proceso de producción de almidón modificado utilizando la sobreproducción de banano nacional de exportación para su uso en un alimento procesado.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Definir parámetros de procesos para la extracción de almidón de banano.
- Modificar almidón nativo mediante un tratamiento alcohólico-alcalino.
- Elaborar un diseño de línea de proceso para la producción de almidón modificado.
- Calcular los costos de producción para la elaboración del almidón modificado de banano.

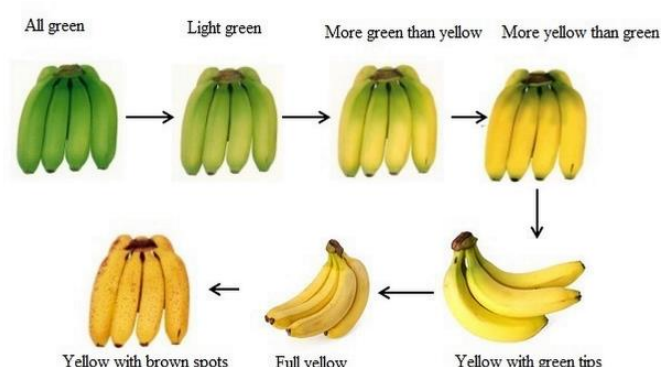
### **1.4 Marco teórico**

#### **1.4.1 Banano**



El banano es una fruta cultivada en zonas tropicales, cuya planta puede alcanzar los 7 m de altura y 30 cm de diámetro (Anchundia & Pincay, 2019). Este es uno de los alimentos de mayor producción a nivel mundial, debido a su alto nivel nutricional y vitamínico, convirtiéndose en la base económica de muchos países por su alto consumo en los múltiples sectores sociales, llegando a ser el cuarto producto más comercializado a través del mundo (Barros et al., 2016). Ecuador es el mayor exportador de banano a nivel global, cuya variedad representativa es el tipo Cavendish, sobrepasando los 300 millones de cajas producidas anualmente, lo cual aporta con el 26% del PIB del país (Racines et al., 2019).

El banano pertenece al grupo de las frutas climatéricas, es decir que luego de su cosecha el proceso metabólico de este alimento acelera debido a la producción de etileno, generando la maduración del producto dependiendo de las condiciones ambientales de almacenamiento en las que se encuentre (Villamizar, 1984). El estado de maduración del banano se puede determinar a través de la coloración que presente. Como podemos ver en la figura 1, el banano de color totalmente verde se encuentra en un grado de maduración 1, donde posee una alta firmeza en su pulpa y una gran proporción de almidón en su composición. Por otra parte, el banano totalmente amarillo ha alcanzado un grado de maduración 6, por lo que ha perdido firmeza en su pulpa y gran parte del almidón que poseía se ha convertido en azúcar (Senthilarasi & Roomi, 2017).



**Figura 1. 1 Etapas de maduración de banano [Senthilarasi & Roomi, 2017]**

### 1.4.2 Almidón de banano

El almidón representa el compuesto de mayor reserva alimenticia encontrado en plantas, el cual proporciona el 80% de las calorías totales consumidas a nivel mundial (Bernal, 2006). La composición del almidón vista desde la química de su estructura se basa en una combinación de dos polisacáridos, amilopectina y amilosa. Según Badui (2006), la amilopectina posee una estructura ramificada unida mediante enlaces  $\alpha$ -D-(1,6) y un posee un peso molecular muy alto, el cual puede llegar a los 200 millones de dáltones. Por otra parte, la amilosa posee una estructura lineal unida a través de enlaces glucosídicos  $\alpha$ -(1,4) y la extensión de su cadena puede variar entre 200-2500 unidades (Fennema, 2010). Generalmente, la proporción de amilosa y amilopectina presente en el almidón es de 20% y 80% respectivamente, sin embargo, dependiendo del tipo de alimento del que el almidón sea extraído las proporciones pueden variar (Martinez et al., 2017).

La mayoría de los almidones no cumplen con las características adecuadas para poder ser aplicados en alimentos, por lo cual deben ser sometidos a modificaciones físicas, químicas o enzimáticas (Contreras et al., 2008). A través de la modificación de los almidones se busca potenciar sus atributos y reducir sus defectos, generando un producto con propiedades gelificantes, encapsulantes y espesantes superiores en comparación al almidón nativo, cuyo uso como aditivo es de gran importancia dentro de la industria alimentaria (Chiu & Solarek, 2009).

Desde el punto de vista morfológico, el almidón de banano posee una forma alargada ovoide con crestas y una superficie rugosa que evita el ataque directo de enzimas gástricas (Fida, 2020). Como podemos ver en la tabla 1, el banano y la harina de banano son los productos con mayor porcentaje de almidón resistente entre los alimentos vegetales (Villaroel et al., 2018).

Este tipo de almidón tiene la capacidad de resistirse a la digestión por lo que no es degradado en tracto gastrointestinal, generando poco impacto energético en la persona que lo consume. Esta característica es de gran importancia en alimentos funcionales, ya que es útil para elaborar productos con bajo índice glicémico. Además, el almidón resistente también provee beneficios estructurales en los

alimentos que es añadido, mejorando su textura sin interferir en otras características como sabor o aroma (Fida, 2020).

**Tabla 1. 1 Porcentaje de almidón resistente en productos vegetales [Villaroel et al., 2018]**

Producto	Contenido de Almidón resistente (%)
Harina de plátano verde	16 - 24
Banano verde	8,5
Poroto blanco	6,6 – 9,0
Camote	4,0 – 4,4
Poroto negro	3,9 – 5,5
Lenteja	3,5
Arroz integral	1,7 – 1,9

### **1.4.3 Extracción de almidón**

La extracción de almidón puede ser elaborada de forma artesanal o de forma industrializada dependiendo de los recursos con los que cuente cada empresa (Da et al., 2013). Sin embargo, el proceso de extracción es muy similar en ambos métodos, pero la diferencia radica en los volúmenes de materia prima que se procesará y en los rendimientos obtenidos (Rodríguez et al., 2017). Aunque existe una amplia gama de métodos de extracción de almidón, la mayoría comparten procesos que son esenciales para el aislamiento del alimento, como: pelado, cortado, generación de suspensión, sedimentación del almidón, lavado y secado (Vithu et al., 2020).

El método de extracción del metabisulfito de sodio es muy utilizado actualmente en la industria alimentaria. Este proceso empieza al mezclar la pulpa del producto con agua en una proporción 1:10 hasta generar una suspensión uniforme. Después, se agrega metabisulfito de sodio en una concentración de 0,01% (p/v). Luego, se realiza una filtración utilizando una capa doble de gasa y mallas de polipropileno. Finalmente se centrifuga el sobrenadante para obtener el almidón y se procede a secarlo y molerlo hasta convertirlo en un polvo fino (Surendra & Parimalavalli, 2014).

Otro método utilizado actualmente es el del cloruro de sodio. Este comienza cortando en pequeños trozos la pulpa del producto para luego formar una solución con cloruro de sodio 1M. utilizando una licuadora. Después, la mezcla se filtra a través de mallas y se lava con agua destilada. Finalmente, se sedimentan los gránulos para obtener el almidón que posteriormente es sometido a secado y molido para obtener un polvo fino (Riley et al., 2006).

Luego de obtener el almidón es importante evaluar la calidad del producto extraído a través de su rendimiento, pureza y coloración (Vithu et al., 2020). A través de la blancura que pueda presentar un almidón se puede determinar su calidad de manera visual. Mientras que, desde un punto de vista estructural, la pureza del almidón radica en la ausencia o la presencia mínima de proteínas, cenizas, fibras y materia grasa en su composición (Pacheco & Techeira, 2009).

#### **1.4.4 Usos del almidón en la industria**

En el mundo globalizado en el que vivimos es importante innovar cuando de productos alimenticios se trata, debido a que el desarrollo de nuevas tecnologías y la aparición de nuevas necesidades por parte de los clientes genera que las empresas deban estar en constante evolución respecto a la oferta de productos alimenticios que suministran a los consumidores (Fulladosa & Guàrdia, 2013).

El almidón es una sustancia que puede ser extraída de cereales, tubérculos y algunas frutas. Es de gran importancia dentro de la industria alimentaria debido a la diversas aplicaciones y propiedades que posee: ligante, gelificante, estabilizante, adhesivo, humectante y espesante (Martínez et al., 2019).

Dentro de los productos en los que el almidón es utilizado, tenemos a los alimentos horneados, como galletas, pan, tartas y pasteles (Akram et al., 2017). Esto se debe a que este tipo de alimentos son de alta densidad y necesitan almidones que puedan soportar altas temperatura. Por lo cual, los almidones reticulados, los cuales pueden soportar temperaturas de 125°C – 130 °C, son ideales para este tipo de productos (Omoregie, 2020).

Otro grupo de alimentos en el que el almidón es de gran utilidad, son las mayonesas, aderezos para ensalada y pastas para untar (Featherstone, 2016). Esto se debe a que los almidones que han pasado por un proceso de hidrolizado adquieren una menor viscosidad y disminuyen su tendencia a formar geles. Por lo cual, son capaces de estabilizar emulsiones y pastas, siendo de gran aporte en este tipo de productos (Omoregie, 2020).

El almidón de banano tiene usos específicos en la industria alimentaria debido a sus propiedades tecnológicas y funcionales (Torre et al., 2008). Lo podemos encontrar en productos de panificación y pastas, en los que proveerá propiedades expansivas y estabilizadoras en los productos desde el punto de vista tecnológico. Mientras que, desde un punto de vista funcional, el alto nivel de almidón resistente que posee el banano genera productos alimenticios saludables para los consumidores (Bala, 2021)

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Materia prima

#### 2.1.1 Banano de exportación

Para la producción del almidón nativo se utilizó banano con calidad de exportación *Musa acuminata Cavendish*, con estado de maduración 1. El banano fue provisto por la empresa Ecuafrutexa.

### 2.2 Extracción química de almidón nativo de banano

#### 2.2.1 Producción de harina de banano

El banano fue lavado para eliminar residuos sólidos e impurezas del producto. Luego, utilizando un cuchillo, el producto fue pelado y cortado en rebanadas de 1 cm que fueron sumergidas en una solución de ácido cítrico al 1%, durante 20 min. Seguidamente, las rebanadas de banano fueron escurridas y secadas en un secador de bandejas a 60°C durante 5 horas. Posteriormente, el banano fue molido utilizando un molino y tamizado utilizando malla 50. Finalmente, la harina producida fue almacenada a 25 °C en fundas de polietileno de baja densidad para prevenir cambios en la humedad del producto.

#### 2.2.2 Producción de almidón nativo mediante método químico

Para la extracción del almidón nativo se utilizó el método descrito por (Rodríguez et al., 2017) aplicando algunas variaciones. Se maceraron 10 g de harina en 50 ml de éter etílico, colocados en un vaso de precipitación de 500 ml durante 12 h, para poder separar ceras, resinas y gomas de la harina. Luego, la solución de éter se decantó y utilizando un sistema de agitación digital a 750 rpm, se mezcló la harina con 50 ml de etanol al 96% durante 3 min. Posteriormente, la mezcla generada fue tamizada, utilizando mallas 200, 100 y 50. El material retenido en las mallas fue lavado con etanol al 96% y la suspensión obtenida fue centrifugada (HERMLE 300Z) durante 20 min a 3000 rpm, utilizando una centrifuga. Por último, el precipitado obtenido en el proceso de centrifugación correspondiente al almidón generado fue secado durante 1 día a temperatura ambiente para eliminar los residuos de etanol. El almidón

generado se almacenó tubos de ensayo para su posterior caracterización. Este ensayo se realizó 4 veces con 3 réplicas cada una.

### **2.3 Modificación del almidón nativo de banano mediante método alcohólico-alcalino**

Se utilizó una variación de la metodología descrita por (Chen & Jane, 1994), Inicialmente, se suspendió 20 g de almidón nativo en una solución de 600 ml agua-etanol a 60%, utilizando un matraz de 2 l. Luego, a las suspensiones generadas se les añadió 8 ml de NaOH (3M). Posteriormente, la solución se dejó en reposo hasta que el almidón empezara a sedimentar. A continuación, el almidón se volvió a suspender en una solución de etanol 60% y se le añadió HCl (3M) para neutralizar con agitación a 250 rpm. Después, los almidones se secaron en un horno por 40 min a 70°C. Finalmente, el almidón modificado se molió y se almacenó en tubos de ensayo.

### **2.4 Rendimiento de harina obtenida**

El rendimiento de la harina obtenida se calculó basándose en la cantidad de banano con cascara utilizado para generar la harina de banano. Para esto, se utilizó la ecuación 2.1.

$$Rendimiento = \frac{\text{Gramos de harina obtenida}}{\text{Gramos de banano con cáscara en estado 1}} * 100 \quad (2.1)$$

### **2.5 Rendimiento de almidón obtenido**

El rendimiento del almidón obtenido se calculó basándose en la cantidad de harina de banano utilizado para generar el almidón. Para esto, se utilizó la ecuación 2.2.

$$Rendimiento = \frac{\text{Gramos de almidón obtenido}}{\text{Gramos de harina de banano}} * 100 \quad (2.2)$$

## **2.6 Caracterización fisicoquímica de la materia prima, harina de banano, almidón nativo y almidón modificado.**

### **2.6.1 Contenido de humedad**

Este parámetro fue determinado a través de un medidor de humedad (Kern mlb 50-3). Para la harina de banano y la materia prima se utilizaron 5 g de muestra, mientras

que para el almidón nativo y el modificado se usó 1 g, lo cuales fueron colocados en un platillo de aluminio y analizados en la termobalanza.

### **2.6.2 Claridad del almidón**

Se suspendieron 0.2 g de almidón nativo y modificado en 5 ml de agua cada uno, utilizando tubos de ensayo para contener la solución. Luego, los tubos fueron colocados durante 30 min a un baño de agua a ebullición, agitando los tubos cada 5 min. Después, los tubos se enfriaron a temperatura ambiente y se determinó la absorbancia a 650 nm utilizando un espectrofotómetro, cuyo resultado fue convertido en porcentaje de transmitancia a través de la ecuación 2.3. Las muestras fueron almacenada a temperatura ambiente y se midió la transmitancia a las 0, 24 y 48 h. Este ensayo se realizó por duplicado.

$$\%Transmitancia = 10^{(2-absorbancia)} \quad (2.3)$$

### **2.6.3 Estabilidad al congelamiento y deshielo**

Se elaboró una suspensión de almidón nativo y otra de almidón modificado al 5% (p/v) y luego fueron sometidas a proceso de congelación (18h, -20°C). Posteriormente, las muestras se descongelaron a temperatura ambiente durante 6 h y fueron centrifugadas durante 10 min a 3000 rpm. Finalmente, se midió el porcentaje de agua liberada por los almidones.

## **2.7 Diseño de línea**

La planta fue diseñada a partir del método sistemático de distribución de planta SLP, el cual se basa en un diagrama de flujo sencillo, diagrama de recorrido, necesidad de espacio, relación de actividades y la determinación de limitaciones para obtener la distribución más adecuada para la producción del almidón modificado.

### **2.7.1 Diagrama de flujo y recorrido**






Se estableció un diagrama de flujo sencillo de los procesos utilizados para la obtención del almidón modificado y a través de este se creó un diagrama de recorrido utilizando la simbología descrita en la tabla 2.1.



### 2.7.2 Relación de actividades

Se elaboró una tabla relacional de actividades donde se evaluó la importancia existente de las relaciones que posee una actividad del proceso de generación del producto con las demás actividades. De esta forma, se estableció que actividades son más afines con otras por lo cual deben tener proximidad y cuales actividades poseen una relación carente de importancia. El criterio, codificación, color y motivos para elaborar el diagrama de relaciones se puede visualizar en la tabla 2.2 y 2.3.

**Tabla 2. 1 Simbología del diagrama de recorrido [Vanaclocha, 2005]**

Proceso	Diagrama
Operación	
Almacenamiento	
Espera	
Inspección	
Transporte	

**Tabla 2. 2 Codificación de proximidad en relación de actividades [Vanaclocha, 2005]**

Código	Proximidad	Color
A	Absolutamente necesario	Rojo
E	Especialmente importante	Amarillo
I	Importante	Verde
O	Ordinaria	Azul
U	Sin importancia	-
X	Rechazable	Marrón

**Tabla 2. 3 Motivo asociado a la relación entre actividades [Vanaclocha, 2005]**

Motivo	
1	Proximidad del proceso
2	Higiene
3	Control
4	Frio
5	Malos olores, ruidos
6	Seguridad del producto
7	Utilización de material común
8	Accesibilidad

La cantidad de relaciones establecidas respecto al criterio de proximidad no puede ser aleatoria y debe tener un máximo de usos posibles. Debido a esto se calcula la cantidad de relaciones totales que se tendrá entre todos los pares de actividades existentes a través de la ecuación 2.4. Luego, se limita el porcentaje de clasificaciones de acuerdo con la tabla 2.4.

$$total\ de\ relaciones = \frac{n(n-1)}{2} \quad (2.4)$$

Siendo n el número de actividades en nuestro proceso productivo.

**Tabla 2. 4 Porcentaje asignado a cada relación [Vanaclocha, 2005]**

Relación	Porcentaje
A	2-5
E	3-10
I	5-15
O	10-25
U	Restantes
X	Restantes

### 2.7.3 Determinación de espacios

Inicialmente se elaboró un diagrama de equipos a utilizar en el proceso de producción del almidón y se estableció un volumen de producción. Luego, para la determinación de la superficie total a utilizar en el proceso, se tomó en cuenta la superficie estática, superficie de gravitación y superficie de evolución (Vanaclocha, 2005). La superficie estática ( $S_s$ ) corresponde a las instalaciones y equipos a utilizar en el proceso, mientras que la superficie de gravitación ( $S_g$ ), establecida en la ecuación 2.5, multiplica la superficie estática con la cantidad de lados que serán utilizados del equipo por los operarios

$$S_g = S_s * N \quad (2.5)$$

La superficie de evolución, establecida en la ecuación 2.6, calcula el espacio que debe haber entre los departamentos o puestos de trabajo para realizar trabajo de mantenimiento y el desplazamiento adecuado del personal. En esta fórmula se utiliza el coeficiente de holgura K, cuyo valor para grandes industrias alimentaria oscila entre 0.05 y 0.15

$$S_e = (S_g + S_s) * K \quad (2.6)$$

#### **2.7.4 Distribución de línea**

Se utilizó el software CORELAP para establecer el layout de la planta, usando como base la información obtenida en la tabla de relación de actividades y así obtener la distribución de la planta.

### **2.8 Costos**

Los costos fueron estimados tomando en cuenta el precio de la materia prima, gastos directos e indirectos, costo de empaques, costo de mano de obra, precio de equipos e insumos, gastos fijos y variables. Utilizando esta información se realizó una proyección mensual de los gastos de producción, se calculó un punto de equilibrio y un precio de venta del producto para estimar la utilidad del proceso.

# CAPÍTULO 3

## 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 3.1 Rendimiento de harina de banano

La producción de harina de banano se realizó utilizando banano en estado de madurez 1, según el procedimiento establecido en el inciso 2.4. El rendimiento de la harina obtenida a partir de la cantidad de pulpa de materia prima utilizada fue de 25.18%, lo cual se puede visualizar en la tabla 3.1.

**Tabla 3. 1 Rendimiento de harina de banano [Elaboración propia]**

Peso de Banano con cáscara (g)	Peso de pulpa de banano (g)	Peso de harina (g)	Rendimiento de harina a partir de banano con cáscara (%)	Rendimiento de harina a partir de pulpa de banano (%)
4850	2700	680	14,02	25,18

### 3.2 Rendimiento de almidón nativo

La producción de almidón nativo se realizó utilizando harina de banano, según el procedimiento establecido en el inciso 2.5. Este proceso de extracción obtuvo un rendimiento de 29,73%, lo cual se puede observar en la tabla 3.2.

**Tabla 3. 2 Rendimiento de extracción de almidón nativo [Elaboración propia]**

Extracción	Réplica	Almidón extraído (g)	Rendimiento (%)
1	1	3,32	33,20
	2	3,06	30,60
	3	3,15	31,50
2	1	3,26	32,60
	2	2,88	28,80
	3	3,35	33,50
3	1	2,29	22,90
	2	3,17	31,70
	3	2,81	28,10
4	1	2,54	25,40
	2	2,66	26,60
	3	3,19	31,90
<b>Promedio ± Desviación estándar</b>		2.97±0,34	29,73±0,34

La presencia de biopolímeros en la composición del banano en estado de madurez 1, como hemicelulosas o lignina, pueden generar una matriz que dificulte la separación del almidón, disminuyendo el rendimiento de la extracción. El rendimiento obtenido en el proceso realizado tuvo un promedio de 29,73%, el cual es menor al 40% reportado por (Rodríguez et al., 2017)

### 3.3 Contenido de humedad

La determinación del contenido de humedad para la harina de banano y los almidones se realizó según el procedimiento establecido en el inciso 2.6.1. El rendimiento de la harina obtenida a partir de la cantidad de pulpa de materia prima utilizada fue de 25,18%, lo cual se puede visualizar en la tabla 3.3.

**Tabla 3. 3 Valor de humedad para harina y almidones [Elaboración propia]**

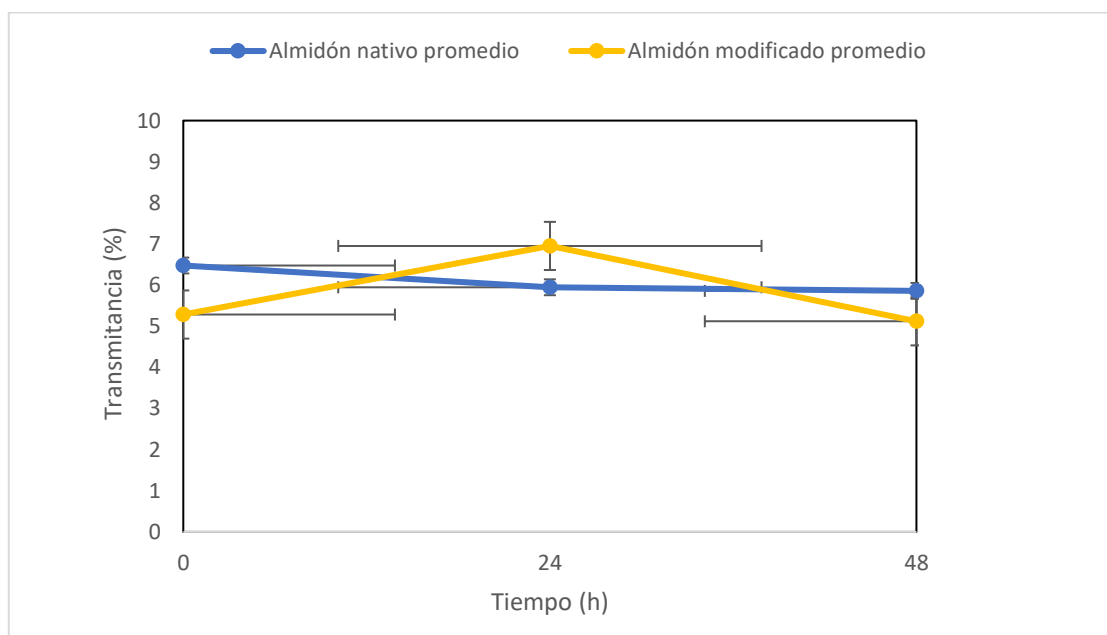
	Muestras					
	Harina 1	Harina 2	Almidón nativo 1	Almidón nativo 2	Almidón modificado 1	Almidón modificado 2
<b>Humedad (%)</b>	8,91	8,74	13,81	13,21	11,94	11,99
<b>Promedio ± Desviación estándar</b>	8,83±0,12		13,51±0,42		11,97±0,04	

Según (ICONTEC, 1991), el valor máximo permitido en el parámetro de humedad para una muestra de harina de banano es 10%, por lo cual la harina producida cumple con el estándar establecido al registrar un valor de 8,83%. Por otra parte, aunque no existe un estándar para la humedad en almidones nativos y modificados, al revisar varios estudios podemos encontrar que este parámetro se encuentra debajo del 20%, por lo cual los almidones nativo y modificado poseen una humedad adecuada al registrar valores de 13,51% y 11,97%, respectivamente (Montoya et al., 2014).

### 3.4 Claridad del almidón

Para el ensayo de claridad se obtuvieron diferentes valores de absorbancia, los cuales fueron convertidos en porcentaje de transmitancia y dichos valores pueden observarse en el Apéndice A. Además, se realizó un promedio de los resultados obtenidos para el almidón nativo y modificado, los cuales se encuentran graficados y pueden ser observados en la figura 3.1.

Utilizando el software STATGRAPHICS, se generó un análisis comparativo entre dos muestras independiente con un intervalo de confianza del 95%, donde se obtuvo un valor p de 0,637921, mayor al valor de significancia ( $p > 0.05$ ), lo cual indica que no existe diferencia significativa entre el almidón nativo y modificado.



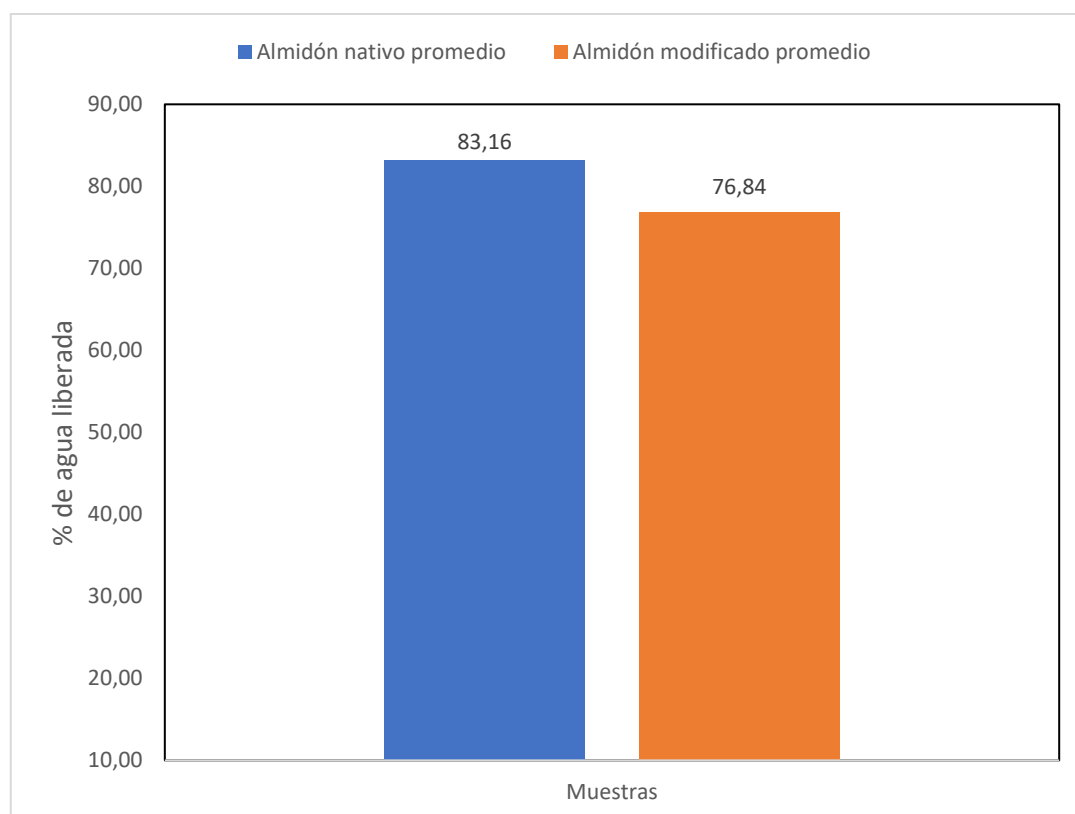
**Figura 3. 1 Porcentaje de transmitancia emitido por almidón nativo y modificado [Elaboración propia]**

### 3.5 Estabilidad al congelamiento y deshielo

Para el ensayo de estabilidad se obtuvieron diferentes valores de porcentaje de agua liberada y se realizó un promedio de los resultados obtenidos para el almidón nativo y modificado, lo cual se encuentra detallado en el Apéndice B.

Utilizando el software STATISTICA, se generó un análisis de varianza (ANOVA), con un intervalo de confianza del 95%, donde se obtuvo un valor p de 0,051017, mayor

al valor de significancia ( $p > 0,05$ ), lo cual indica que no existe diferencia significativa entre el almidón nativo y modificado. Sin embargo, en la figura 3.2 se puede visualizar que el almidón modificado tuvo un menor porcentaje de agua liberada que el almidón nativo.



**Figura 3. 2 Porcentaje de agua liberada por almidón nativo y modificado [Elaboración propia]**

La modificación alcohólica-alcalina realizada sobre el almidón produce un ambiente alcalino intenso, en el que grupos  $-OH$  provenientes de la disociación del  $NaOH$ , generan una acumulación de cargas negativas dentro del almidón (Chen & Jane, 1994). La repulsión de las cargas produce una hinchazón en los gránulos de almidón, lo cual induce a la ruptura de los enlaces de hidrógeno que mantienen unida a la doble hélice que conforma la molécula de almidón, convirtiéndola en una estructura de una sola hélice (Chen et al., 2020). La agregación de cadenas lineales en la estructura interna del almidón forma una malla que disminuye la cantidad de agua que este libera (Bello et al., 2002). Por lo cual el almidón modificado presentó una mayor retención de agua en comparación al almidón nativo.

Existen diversas propiedades que pueden ser medidas para determinar diferencias significativas entre el almidón nativo y el almidón modificado mediante tratamiento alcohólico-alkalino. El valor azul medido mediante una prueba iodometrica, visualizado a través de la creación de un complejo yodo-almidón, es mayor en almidones modificados mediante tratamiento alcohólico alcalino en comparación a almidones nativos, debido a que la estructura de los almidones modificados posee una mayor cantidad de segmentaciones lineales que facilitan la absorción de yodo (Bello et al., 2002). De igual manera, los almidones modificados tienen la capacidad de solubilizarse en agua fría, característica que en los almidones nativos está poco desarrollada, debido a que la modificación produce un hinchamiento en el granulo de almidón producto del rompimiento de la doble hélice de su estructura, favoreciendo a la combinación del almidón con agua a bajas temperaturas (Chen et al., 2020). Por otra parte, la ruptura de estructuras dentro del granulo de almidón y la agregación de cadenas lineales, genera que la molécula de amilosa se reagrupe en zonas especifica, aumentando el contenido de amilosa aparente, diferenciándose de esta manera del almidón nativo (Chen & Jane, 1994)

### **3.6 Diseño de línea**

#### **3.6.1 Diagrama de flujo y recorrido**

Para la generación del diseño de línea, se elaboró inicialmente un diagrama de flujo del proceso productivo del almidón modificado de banano, el cual se puede visualizar en la figura 3.3.

A partir del diagrama de flujo se elaboró un diagrama de recorrido del proceso, el cual se puede visualizar en la figura 3.4. Este esquema consta de 23 etapas, de la cuales 13 pasos son de operación, 7 pasos de espera, 2 pasos de inspección y 1 de almacenamiento.



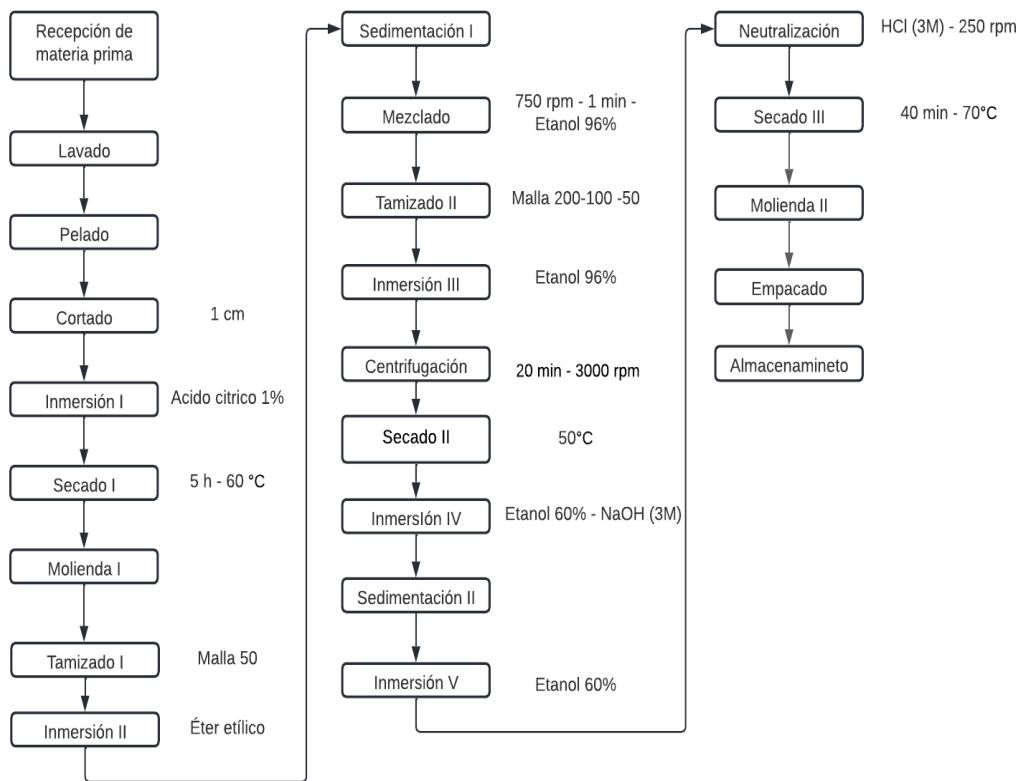


Figura 3. 3 Diagrama de flujo de almidón modificado de banano [Elaboración propia]

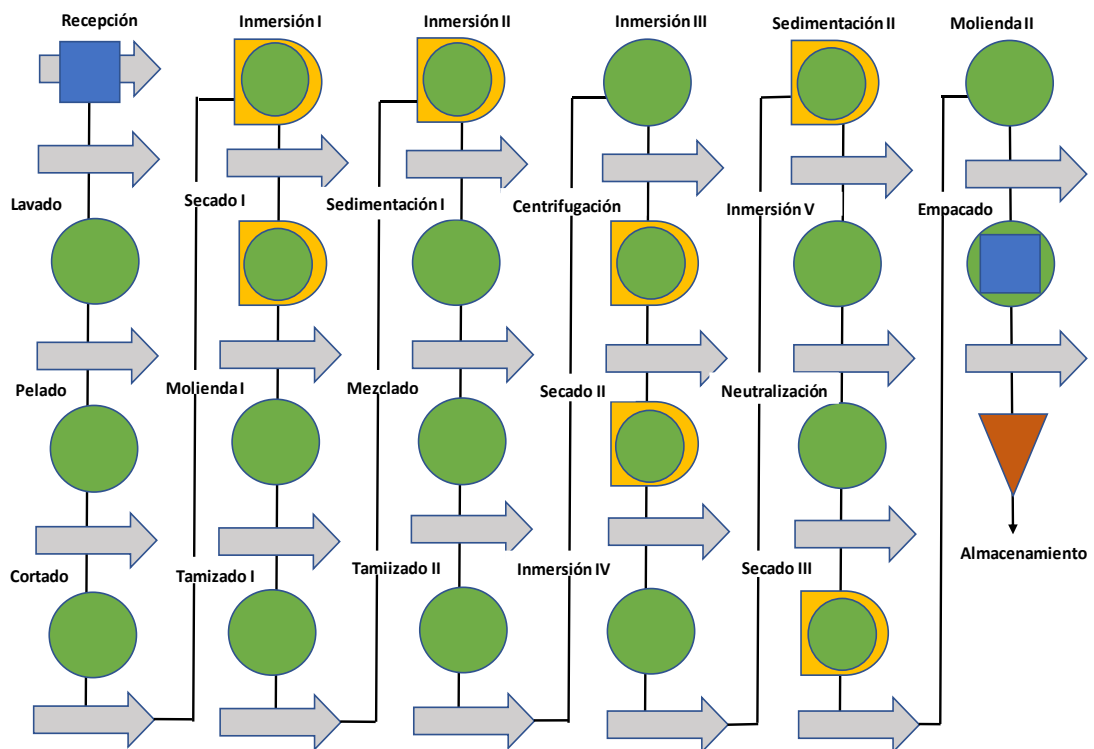


Figura 3. 4 Diagrama de recorrido de almidón modificado de banano [Elaboración propia]

### 3.6.2 Relación entre actividades

Las actividades del proceso productivo fueron agrupadas según la proximidad necesaria entre ellas y el área en el que se desarrollan, lo cual se puede observar en la tabla 3.4.

**Tabla 3. 4 Agrupación de etapas del proceso [Elaboración propia]**

1	Recepción de materia prima
2	Lavado - Pelado
3	Cortado - Inmersión I
4	Secado I - Molienda I
5	Tamizado I - Inmersión II
6	Sedimentación I - Mezclado
7	Tamizado II - Inmersión III
8	Centrifugación - Secado II
9	Inmersión IV - Sedimentación II
10	Inmersión V - Neutralización
11	Secado III - Molienda II
12	Empacado - Almacenamiento
13	Oficina
14	Baños

En la tabla 3.5 se puede observar el rango de valoraciones (A, E, I, O, U, X) utilizadas entre las interacciones de los diferentes departamentos que componen el proceso de elaboración de almidón modificado.

**Tabla 3. 5 Cantidad de valoraciones asignadas a las interacciones entre las actividades [Elaboración propia]**

CÓDIGO	MIN	MAX	REAL
A	2	5	5
E	3	9	7
I	5	14	10
O	9	23	10
U	20		27
X	20		32

Luego, se elaboró el diagrama de relación de actividades, el cual se puede visualizar en la figura 3.5, tomando en cuenta las necesidades de proximidad, higiene, control y seguridad entre los departamentos establecidos.

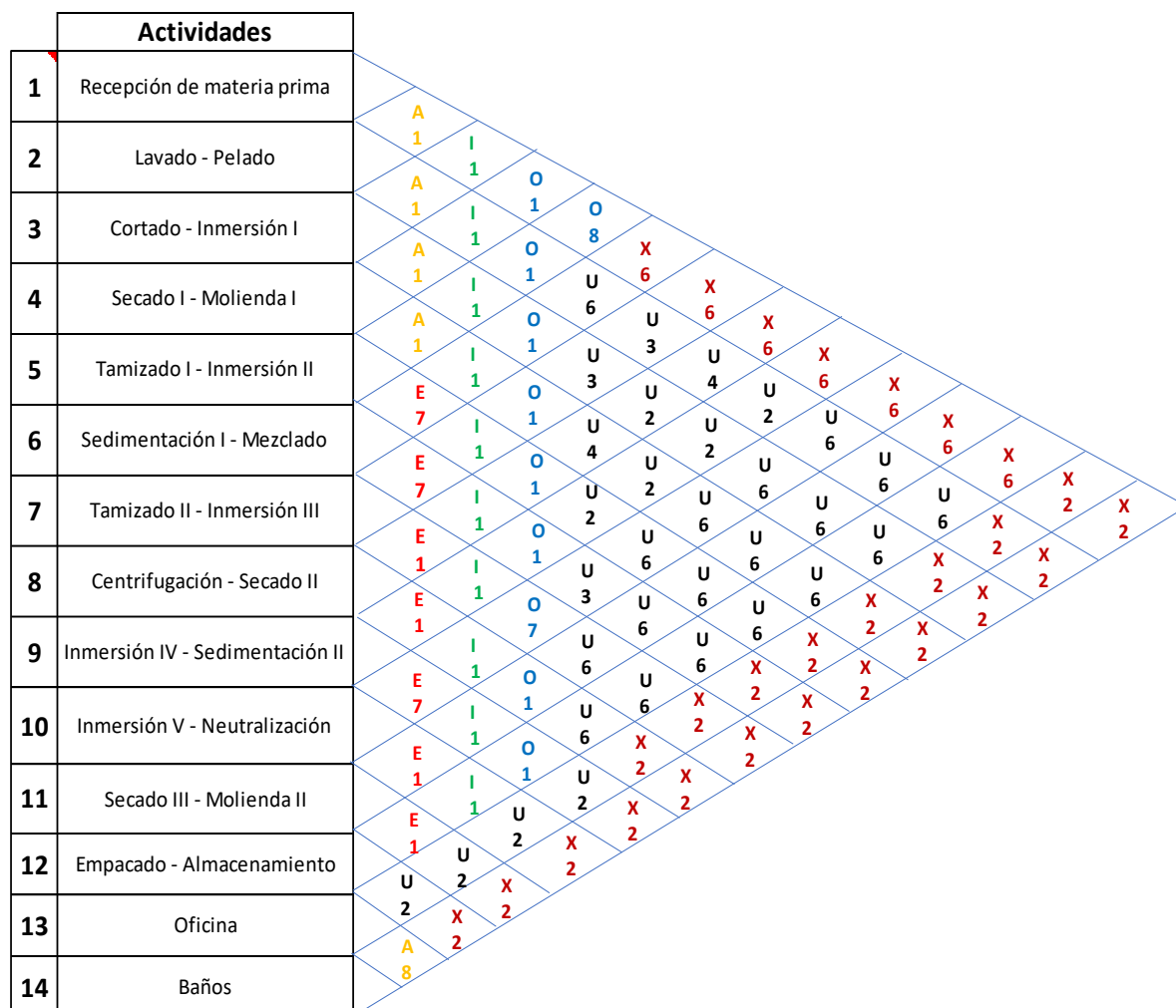


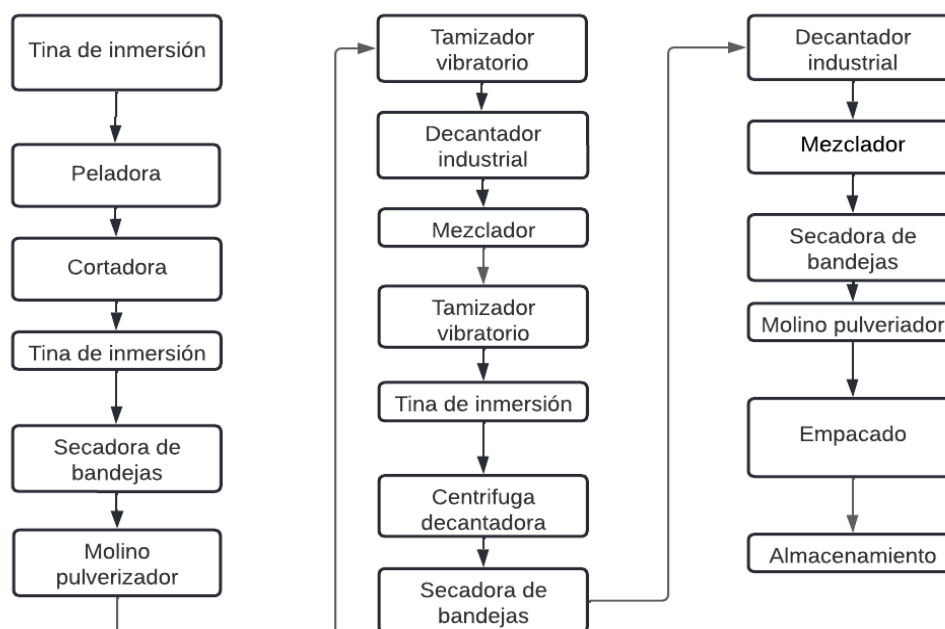
Figura 3. 5 Diagrama de relación de actividades [Elaboración propia]

### 3.6.3 Determinación de espacios

Inicialmente, se detallaron los equipos necesarios en el proceso de producción de almidón modificado, lo cuales se pueden visualizar en la figura 3.6. En el Apéndice C se encuentra información detalla de los equipos.

En base al diagrama de equipos y las dimensiones de estos, se calculó superficie de evolución (Se), superficie de gravitación (Sg) y superficie estática (Ss). A partir de estos cálculos se determinó el área necesaria para cada actividad del proceso, cuyo

total se puede visualizar en la tabla 3.6 y el cálculo de las superficies se puede ver en el apéndice C.



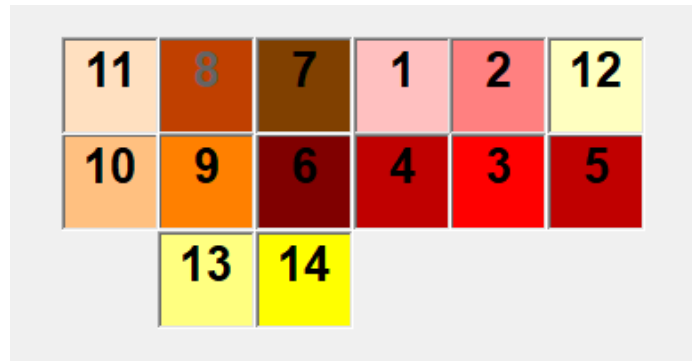
**Figura 3. 6 Diagrama de equipos de almidón modificado [Elaboración propia]**

**Tabla 3. 6 Área necesaria para cada actividad [Elaboración propia]**

Actividad	Área (m <sup>2</sup> )
Recepción de materia prima	7
Lavado - Pelado	7,04
Cortado - Inmersión I	6,24
Secado I - Molienda I	6,08
Tamizado I - Inmersión II	9,53
Sedimentación I - Mezclado	2,48
Tamizado II - Inmersión III	11,18
Centrifugación - Secado II	6,70
Inmersión IV - Sedimentación II	3,31
Inmersión V - Neutralización	2,48
Secado III - Molienda II	6,08
Empacado – Almacenamiento	8,10
Oficina	8
Baños	4
Total	88,22

### 3.6.4 Distribución de línea

Se utilizó el software CORELAP para generar el layout de la planta que se puede visualizar en las figuras 3.7 y 3.8, utilizando la información obtenida en la determinación de espacios y en el diagrama de relación de actividades.



**Figura 3. 7 Layout codificado por el software CORELAP de planta productora de almidón modificado de banana [Elaboración propia]**



**Figura 3. 8 Layout generado por el software CORELAP de planta productora de almidón modificado de banana [Elaboración propia]**

### 3.7 Costos

Inicialmente se definió una producción mensual de 4500 kg de almidón modificado, la cual representa el 0.5% de la importación total de almidón realizada por Ecuador en 2017 (SENAE, 2017). Esto equivale a una producción diaria de 28,125 Kg/h. Además, se consideró un tamaño de lote de 300 kg, compuesto por 15 sacos de 20 kg.

### 3.7.1 Costos variables, fijos y de producción

Los costos fijos se calcularon tomando en cuenta, los costos mensuales de insumos de limpieza, depreciación de equipos, costo de energía y agua. De igual manera, los costos fijos se calcularon tomando en cuenta el sueldo del personal y el costo de la materia prima. Estos costos se encuentran especificados en el Apéndice D y el total de costos se puede visualizar en la tabla 3.7.

**Tabla 3. 7 Costos directos, indirectos y operativos mensuales [Elaboración propia]**

Detalle	Valor mensual (\$)
Costos variables	\$387.864,75
Costos fijos	\$6.106,44
Costos de producción	\$393.971,19

### 3.7.2 P.V.P

El precio de venta por kilogramo de producto se calculó teniendo en cuenta un margen de ganancia del 15% y se calculó mediante la ecuación 3.1.

$$\text{Precio de venta unitario} = \frac{\text{Costos de producción}}{\text{Kg de producto mensual}} * 1.15 \quad (3.1)$$

El precio de venta por kilogramo de almidón modificado fue \$100.68.

### 3.7.3 Punto de equilibrio

El punto de equilibrio se calculó considerando los costos operativos, el precio de venta unitario y coste variable unitario, mediante la ecuación 3.2.

$$P.E = \frac{\text{Costos fijos}}{\text{Precio de venta unitario} - \text{Costo variable unitario}} \quad (3.2)$$

El punto de equilibrio dio como resultado 421 kg de almidón modificado, lo cual indica que luego de vender esa cantidad de producto la línea de proceso será rentable.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- La extracción química de almidón nativo a partir de la harina de banano tuvo un rendimiento de 29,73%. Este producto presentó una humedad de 13,51%, manteniendo un valor adecuado respecto al parámetro medido en comparación a almidones de banano extraídos en otros ensayos.
- Se caracterizó el almidón nativo y modificado a través de análisis de claridad y estabilidad al congelamiento. En el ensayo de claridad no existieron diferencias significativas entre los niveles de transmitancia mostrados por ambos almidones. De igual manera, en el ensayo de estabilidad al congelamiento, no se mostró diferencias significativas entre los niveles de agua liberada por ambos almidones. Sin embargo, en el desarrollo del análisis se pudo evidenciar que el almidón modificado tuvo un menor porcentaje de agua liberada que el almidón nativo, lo cual es acorde a la intención de la modificación ya que se pudo aumentar el porcentaje de absorción de agua del almidón de banano.
- Se elaboró un diseño de línea que comprende 14 bloques, de los cuales 12 son para el proceso productivo y 2 para funciones administrativas y de higiene. La capacidad de los equipos utilizados se estimó teniendo en cuenta el volumen de producción de 28,125 kg/h, lo cual generó que el área total requerida para el desarrollo del proceso sea 88,22 m<sup>2</sup>.
- Se calculó los costos de producción para la elaboración del almidón modificado, proyectando una utilidad del 15%, lo cual generó un costo de venta por kilogramo de \$100.68. De igual manera, se calculó el punto de equilibrio del producto, obteniendo un total de 421 kg para que el proceso sea rentable.

### 4.2 Recomendaciones

- Reemplazar el éter dietílico por otro tipo de solvente que represente un menor impacto económico en el proceso de extracción del almidón y sea más seguro de utilizar en una planta procesadora de alimentos.

- Utilizar un evaporador rotativo industrial para recuperar reactivos utilizados en la extracción y modificación del almidón para disminuir el impacto económico y ambiental generado en el proceso productivo.
- Realizar pruebas que permitan determinar la pureza del almidón nativo y modificado, así como el porcentaje de amilosa y amilopectina que tienen en su composición.
- Evaluar propiedades del almidón modificado de banano, como solubilidad en agua fría, valor azul y contenido de amilosa aparente, con la finalidad de complementar los análisis realizados en el proyecto y establecer diferencias significativas con el almidón nativo.
- Realizar el proceso de modificación con la cantidades y relaciones adecuadas de almidón nativo y reactivos, descritas en la sección de metodología.



## BIBLIOGRAFÍA

- AEBE. (2022). Latinoamérica y su llamado a la conciencia: *Bananotas*, 20, 8–10.
- Akram, N., Pasha, I., Huma, N., & Asghar, M. (2017). Effect of modified cereal starches on dough and bread quality. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 54, 145–151.
- Anchundia, M., & Pincay, J. (2019). Requerimientos nutricionales de N y K en el cultivo de banano (*Musa paradisiaca* L.) en un suelo Entisol e Inceptisol. *Las Ciencias Agropecuarias*, 1, 115-123.
- Aurore, G., Parfait, B., & Fahrasmane, L. (2009). Bananas, raw materials for making processed food products. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 78–91.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (4ta ed.). México DC, Pearson Education.
- Bala, S. (2021). Banana Starch: Properties illustration and food applications. *Biosynthesis Nutrición Biomedical*, 73, 6-27.
- Barros, C., Leonel, M., Landi, C., Loli, E., & Thais, R. (2016). Characterization of banana starches obtained from cultivars grown in Brazil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 89, 632–639.
- Bello, L., Contreras, S., Romero, R., Solorza, J., & Jiménez, A. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca*. *Agrociencia*, 36(2), 169–180.
- Bernal, L. (2006). Una nueva visión de la degradación del almidón. *Revista Del Centro de Investigación*, 7, 77-90.
- Chen, J., & Jane, J. (1994). Preparation of granular Cold-Water-Soluble-Starches by Alcoholic-Alkaline treatment. *Cereal Chemistry*, 71(6), 618–622.
- Chen, J., & Jane, J. (1994). Properties of Granular Cold-Water-Soluble-Starches prepared by Alcoholic-Alkaline treatments. *Cereal Chemistry*, 71(6), 623–626.
- Chen, Y., Dai, G., & Gao, Q. (2020). Preparation and properties of granular cold-water-soluble porous starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144, 656–662.
- Chiu, C. wai, & Solarek, D. (2009). *Modification of Starches* (3rd ed). New Jersey, United States: Elsevier Inc.
- Contreras, O., Peñaranda, E., & Algecira, N. (2008). Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos: A review of using organic acids to chemically modify starch. *Ingeniería e Investigación*, 28(3), 47–52.

Da, G., Dufour, D., Giraldo, A., Moreno, M., Tran, T., Vélez, G., Sánchez, T., Le-Thanh, M., Marouze, C., & Marechal, P. (2013). Cottage level cassava starch processing systems in Colombia and Vietnam. *Food and Bioprocess Technology*, 6(8), 2213–2222.

El comercio. (2022). Sobreoferta afecta exportación de banano por guerra Rusia-Ucrania. Accedido el 8 de Julio, 2022, desde <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/banano-ecuador-sobreoferta-guerra-rusia-ucrania.html>

FAO. (2020). Análisis del mercado del banano 2018. Accedido el 1 de Julio, 2022, desde <http://www.fao.org/3/ca5626es/CA5626ES.pdf>

Featherstone, S. (2016). *A Complete Course in Canning and Related Processes* (14th ed.). Western Cape, Cabo Verde: Woodhead.

Fennema, O. (2010). *Química de los alimentos* (4ta ed.). Wisconsin, United States: Kirk.

Fida, R. (2020). Application of banana starch and banana flour in various food product. *Earth Environmental Science*. 443, 20-57.

Fulladosa, E., & Guàrdia, M. D. (2013). *Estrategias innovadoras para desarrollar alimentos más saludables* (1ra ed.). Andalucía, España: IRTA.

ICONTEC. (1991). Norma Técnica Colombiana 2799. Accedido el 10 de agosto, 2022, desde <https://dokumen.tips/documents/ntc-2799-industrias-alimentarias-harina-de-platano.html?page=1>.

Jiménez, K., Landeta, H., & Vega, F. (2017). Incidencia del cambio de la matriz productiva en empresas bananeras de Machala. *Conference Proceedings*, 1(1), 164–167.

Martinez, J., Hernández, J., & Arias, A. (2017). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de arroz (*Oryza sativa* L) blanco e integral. *Alimentos Hoy*, 25(41), 15–30.

Martínez, P., Peña, F., Gómez, Y., Vargas, G., & Velezmoro, C. (2019). Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa. *Revista de la Sociedad Química de Perú*, 85(3), 339-350.

Montoya, J., Dumar, V., & Lucas, J. (2014). Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel. *Acta Agronómica*, 64(1), 11–21.

Omeregíe, H. (2020). *Chemical properties of starch* (1ra ed.). Londres, Inglaterra: IntechOpen.

Pacheco, E., & Techeira, N. (2009). Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea alata*). *Interciencia*, 34(4), 280–285.

Racines, M., Moncayo, P., & Viera, W. (2019). Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de banano orgánico (*Musa acuminata*) en el Ecuador. *Enfoque UTE*, 10(4), 57–66.

Reyes, P., & Palacios, D. (2016). Cambio de la matriz productiva del Ecuador y su efecto en el comercio exterior. *Dominio de Las Ciencias*, 2, 418–431.

Riley, C. K., Wheatley, A. O., & Asemota, H. N. (2006). Isolation and characterization of starches from eight *Dioscorea alata* cultivars grown in Jamaica. *African Journal of Biotechnology*, 5(17), 1528–1536.

Rodríguez, A. J., Ulloa, R., & Villalobos, J. (2017). Diseño, construcción y optimización mediante superficie de respuesta de un proceso tecnológico artesanal para la extracción de almidón de *Manihot esculenta* grado FAO. *Boletín Tecnológico*, 13, 26–32.

Rodríguez, S., Méndez, G., Velázquez, G., & Bello, L. (2017). Thermal, rheological and structural characteristics of banana starches isolated using ethanol. *Starch*, 69, 11–12.

SENAE. (2017). Importaciones. Accedido el 18 de noviembre, 2022, desde <https://www.aduana.gob.ec/importaciones/>.

Senthilarasi, M., & Roomi, S. (2017). Particle swarm optimized fuzzy model for the Classification of Banana Ripeness. *IEEE*, 1748, 1–13.

Surendra Babu, A., & Parimalavalli, R. (2014). Effect of starch isolation method on properties of sweet potato starch. *Food Technology*, 38(1), 48–63.

Tonini, D., Federica, P., & Fruergaard, T. (2018). Environmental impacts of food waste: Learnings and challenges from a case study on UK. *Waste Management*, 76, 744–766.

Torre, D., Chel, L., & Betancur, D. (2008). Food chemistry functional properties of square banana (*Musa balbisiana*) starch. *Food Chemistry*, 106(3), 1138–1144.

Vanaclocha, A. (2005). *Diseño de industrias agroalimentarias* (1ra ed.). Madrid, España: Imprimac.

Villamizar, F. (1984). Fisiología de maduración poscosecha de banano Variedad Nanica (*Musa Cavendishii*). *Ingeniería e Investigación*, 8, 25–33.

Villaroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(3), 271–278.

Vithu, P., Dash, S. K., Rayaguru, K., Panda, M. K., & Nedunchezhiyan, M. (2020). Optimization of starch isolation process for sweet potato and characterization of the prepared starch. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(3), 1520–1532.

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

### Absorbancia y transmitancia de almidón nativo y modificado (Elaboración propia)

Muestra	Absorbancia 0H	Absorbancia 24H	Absorbancia 48H	Transmitancia 0H (%)	Transmitancia 24H (%)	Transmitancia 48H (%)
Almidón nativo 1	1,246	1,21	1,149	5,68	6,18	7,10
Almidón nativo 2	1,138	1,24	1,335	7,28	5,71	4,62
Almidón modificado 1	1,277	1,18	1,337	5,28	6,58	4,60
Almidón modificado 2	1,277	1,14	1,249	5,28	7,33	5,64

### Promedio de transmitancia para almidón nativo y modificado (Elaboración propia)

Muestra	Transmitancia 0H (%)	Transmitancia 24H (%)	Transmitancia 48H (%)
Almidón nativo promedio	6,48	5,95	5,86
Almidón modificado promedio	5,28	6,95	5,12

## APÉNDICE B

### Cantidad de agua liberada por almidón nativo y modificado (Elaboración propia)

<b>Muestra</b>	<b>Agua agregada a la muestra (ml)</b>	<b>Agua eliminada de la muestra (ml)</b>	<b>Agua eliminada de la muestra (%)</b>	<b>Promedio de agua eliminada de la muestra (%)</b>
Almidón nativo 1	47,5	39	82,11	83,16
Almidón nativo 2	47,5	40	84,21	
Almidón modificado 1	47,5	36	75,79	76,84
Almidón modificado 2	47,5	37	77,89	

## APÉNDICE C

### Especificación de equipos (Elaboración propia)

Equipo	Capacidad	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
Tina de inmersión	400 l	1,6	0,9	1
Peladora	650 kg/h	1,5	0,6	1,2
Cortadora	400 kg/h	1,2	0,46	1,2
Secador de bandejas	100 kg/h	1,3	1,2	2
Molino pulverizador	350 kg/h	1,2	0,6	1,9
Tamizador vibratorio	400 kg/h	1	1,8	1,3
Decantador industrial	400 l	1,2	0,8	1,6
Mezclador	200 l	1,2	0,6	1,9
Centrifuga decantadora	100 kg/h	1,5	0,9	1,2





## APÉNDICE D

### Costo de materia prima y material de empaque – Costo variable (Elaboración propia)

Detalle	Unidad	Cantidad por lote	Costo por unidad	Costo por lote	Costo por mes
Banano de exportación	kg	7197,00	\$0,34	\$2.446,98	\$36.704,70
Ácido cítrico	kg	126,00	\$4,00	\$504,00	\$7.560,00
Etanol 96%	l	2160,00	\$2,46	\$5.313,60	\$79.704,00
Éter dietílico	l	300,00	\$27,75	\$8.325,00	\$124.875,00
Ácido clorhídrico	l	444,00	\$7,73	\$3.432,12	\$51.481,80
Hidróxido de sodio	kg	225,00	\$24,91	\$5.604,75	\$84.071,25
Bolsa de polipropileno	unidades	15	\$0,08	\$1,20	\$18,00
<b>Total</b>				<b>\$25.627,65</b>	<b>\$384.414,75</b>

### Costo de equipos – Costo de inversión (Elaboración propia)

Detalle	Cantidad	Precio por Unidad (\$)	Total
Tina de inmersión	3	\$500,00	\$1.500,00
Peladora	1	\$2.000,00	\$2.000,00
Cortadora	1	\$1.000,00	\$1.000,00
Secadora de bandejas	3	\$2.000,00	\$6.000,00
Molino Pulverizador	2	\$2.800,00	\$5.600,00
Tamizador vibratorio	2	\$1.000,00	\$2.000,00
Decantador industrial	2	\$1.700,00	\$3.400,00
Mezclador	2	\$700,00	\$1.400,00
Centrifuga decantadora	1	\$5.000,00	\$5.000,00
Balanza	3	\$180,00	\$540,00
Pala de grado alimentario	6	\$10,00	\$60,00
Mesa de trabajo	3	\$100,00	\$300,00
<b>Total</b>			<b>\$28.800,00</b>

### Depreciación de equipos - Costo fijo (Elaboración propia)

Detalle	Vida útil (años)	Precio unitario	Cantidad	Precio total	Depreciación anual	Depreciación mensual
Tina de inmersión	6	\$500,00	\$3,00	\$1.500,00	\$250,00	\$20,83
Peladora	10	\$2.000,00	\$1,00	\$2.000,00	\$200,00	\$16,67
Cortadora	10	\$1.000,00	\$1,00	\$1.000,00	\$100,00	\$8,33
Secadora de bandejas	10	\$2.000,00	\$3,00	\$6.000,00	\$600,00	\$50,00
Molino Pulverizador	10	\$2.800,00	\$2,00	\$5.600,00	\$560,00	\$46,67
Tamizador vibratorio	9	\$1.000,00	\$2,00	\$2.000,00	\$222,22	\$18,52
Decantador industrial	10	\$1.700,00	\$2,00	\$3.400,00	\$340,00	\$28,33
Mezclador	10	\$700,00	\$2,00	\$1.400,00	\$140,00	\$11,67
Centrifuga decantadora	10	\$5.000,00	\$1,00	\$5.000,00	\$500,00	\$41,67
Balanza	6	\$180,00	\$3,00	\$540,00	\$90,00	\$7,50
Pala de grado alimentario	4	\$10,00	\$6,00	\$60,00	\$15,00	\$1,25
Mesa de trabajo	5	\$100,00	\$3,00	\$300,00	\$60,00	\$5,00
						<b>\$256,44</b>

### Costo de insumos y servicios (Costo fijo)

Descripción	Costo mensual (\$)
Limpieza y desinfección	\$300,00
Papelería y útiles de escritorio	\$50,00
Depreciación de equipos	\$256,44
Agua	\$2000,00
Energía	\$3500,00
<b>Total</b>	<b>\$6106,44</b>

### Costo mensual de mano de obra - Costo variable (Elaboración propia)

Trabajador	Cantidad	Unitario (\$)	Total (\$)
Obrero Calificado	6	\$425,00	\$2.550,00
Supervisor	1	\$900,00	\$900,00
<b>Total</b>			<b>\$3.450,00</b>

### Costo mensual fijo, variable y operativo (Elaboración propia)

Detalle	Valor mensual (\$)
Costos de inversión	\$28.800,00
Costos variables	\$387.864,75
Costos fijos	\$6.106,44
Costos de producción	\$393.971,19

### Costos totales unitarios (Elaboración propia)

Detalle	Valor (\$)
Costo unitario de producción	\$87,55
Costo variable unitario	\$86,19
Precio de venta unitario	\$100,68