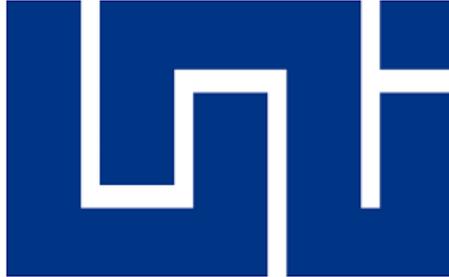


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“Obtención de harina de pejibaye a escala de laboratorio”**

**TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:**

Br. María Regina Chávez Tórrez

Br. Rosa Emilia Jiménez Obando

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

INGENIERO QUÍMICO

**TUTOR:**

MSc. Johana Lisseth O’Connor Mendoza

**Managua, Nicaragua 2023**

## **Opinión del tutor**

El presente trabajo de diploma titulado “**Obtención de harina de pejibaye a escala de laboratorio**” realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería, ha sido desarrollado por las bachilleras: María Regina Chávez Torrez y Rosa Emilia Jiménez Obando, quienes identificaron que existe un mercado creciente para alimentos funcionales y para personas con regímenes de dietas especiales como las veganas y celíacas, con la industrialización de un producto autóctono de la región caribeña como el pejibaye que presenta valores nutricionales importantes como la de aminoácidos esenciales y variedad de vitaminas. La harina de pejibaye es un producto que conserva gran parte del valor alimenticio del fruto fresco, se puede almacenar fácilmente y muy versátil, con la que se pueden desarrollar múltiples platillos, snacks y galletas.

Con los resultados obtenidos en este estudio, las graduadas aportan a la política de investigación, innovación y tecnologías productivas de Nicaragua 2022-2023, que orienta a la generación de agregación de valor y la transformación de la producción agropecuaria. En cada etapa de esta propuesta, las graduadas, pudieron demostrar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Química, aplicaron lo aprendido en materias como: química general, química orgánica, análisis instrumental, fundamento de los procesos biológicos, balance de materia y energía, procesos industriales, química de los alimentos, entre otras, demostrando su capacidad de poner este conocimiento al servicio del desarrollo del país.

Por lo antes expuesto, el presente Trabajo de Diploma, reúne los requisitos para ser sometido ante el correspondiente Tribunal Examinador, a quienes se les solicita valorar de manera positiva la contribución de los autores de manera pertinente, técnico-práctico y resolutivo a problemas reales que enfrentan la industria y sociedad nicaragüense.

**MSc. Johana Lisseth O’Connor Mendoza**

Tutor del Trabajo de Diploma

Managua, octubre 2023

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios quien me ha dado la vida y me ha dado valentía para superar todos los obstáculos que se me han presentado.

A mis padres, quienes me han brindado todo su apoyo, moral, económico, por sus consejos, motivación y paciencia en todo momento y guiarme a lo largo de este recorrido.

Quiero agradecer a todas aquellas personas nos apoyaron con ideas, consejos, asesoramiento en la elaboración de esta tesis.

Gracias a nuestra tutora, MSc. Johana Lisseth O'Connor Mendoza por brindarnos toda su asesoría, orientación y apoyo total en el desarrollo de nuestro proyecto monográfico.

**Br. María Regina Chávez Torrez**

## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a primeramente a Dios por ser mi luz en este camino y darme sabiduría, fortaleza para alcanzar mis objetivos.

A mi familia ya que siempre han estado a mi lado brindándome su apoyo y gracias a ellos he logrado concluir la carrera y me han impulsado a perseguir mis sueños y alcanzar mis objetivos.

**B r. María Regina Chávez Torrez**

## **Agradecimiento**

Principalmente agradezco a Dios quien desde pequeña me ha guiado, guardado y dado las fuerzas para seguir adelante y por ende cumplir con cada uno de mis sueños.

A mi familia en especial a mi mamá Rosalpina Obando Orozco y mi tía Gricelda de Jesús Obando Orozco quien es una segunda madre para mí, les agradezco a ambas por todo el amor recibido, la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaban por mis estudios, por mi avance y desarrollo de esta tesis, por toda comprensión y estímulo constante además de su apoyo condicional a lo largo de mis estudios y vida, así como los sabios consejos para ser una mejor persona y por ende una mejor profesional. ¡GRACIAS TIA, GRACIAS MAMÁ! Por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida.

A mis dos hermanos Oneyker y Lizandra por ser mis mayores promotores durante este proceso.

A mi mejor amiga Sandra Clark por siempre estar al pendiente de mis avances y por sus constantes palabras de aliento y ánimo por seguir luchando.

Agradezco a mi tutora Msc. Johanna O'Connor y al profesor Rolando Guevara por el compromiso, sacrificio, entrega y dedicación durante toda la etapa de este trabajo. Muchísimas gracias.

**Br. Rosa Emilia Jimenez Obando**

## **Dedicatoria**

“Por los que miran las estrellas y piden deseos, por las estrellas que escuchan y los sueños que se hacen realidad”.

Dedico esta tesis a Dios primeramente por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida. Por los momentos buenos y malos que me han enseñado a valorar cada cosa, cada día y cada instante. A mi mamá Rosalpina y mi tía Gris a quien veo como una segunda madre, a ustedes quienes me han acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, ellas que sentaron en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación, en ellas tengo el espejo en el cual me quiero reflejar por sus virtudes infinitas y su gran corazón me lleva a admirarlas cada día, ellas quienes me han velado por mí durante este arduo camino como lo fue convertirme en toda una profesional, a mis dos hermanos Oneyker y Lizandra por ser el motor la esperanza y la motivación para seguir luchando por una vida mejor y ser un ejemplo para ellos.

**Br. Rosa Emilia Jimenez Obando**

## Resumen

En la búsqueda de una alimentación saludable y sostenible, cada vez más personas optan por adoptar una dieta vegana, que excluya cualquier producto de origen animal. Sin embargo, es importante asegurar que esta dieta sea equilibrada y proporcione todos los nutrientes necesarios para mantener una buena salud. En este contexto, el fruto de pejibaye se presenta como una alternativa nutricional para personas veganas pues cada vez más estudios científicos demuestran los beneficios que una dieta rica en productos de origen vegetal tiene sobre la salud (Ivorra, 2016).

Se llevaron a cabo pruebas para evaluar productos derivados del pejibaye, específicamente harina obtenida mediante dos métodos de obtención: cocción y deshidratación.

Entre los hallazgos destacados: Sabor, Color, Textura, Aroma, Preferencia general. En cuanto a las propiedades fisicoquímicas de las harinas, se encontró que la harina por cocción tenía un contenido de humedad del 7.37%, cenizas del 2.28%, grasa del 15%, proteína del 4.63%, carbohidratos del 49.49%, y fibra del 21.13%. La harina por deshidratación tenía un contenido de humedad del 6.85%, cenizas del 1.85%, grasa del 14.3%, proteína del 5.25%, carbohidratos del 53.5%, y fibra del 18.25. Ambas harinas cumplieron con los estándares de propiedades permitidas.

En términos de rendimiento, la harina por deshidratación obtuvo un rendimiento ligeramente mayor, con un 36.75%, lo que equivale a 0.520 kg de harina fina de pejibaye, mientras que la harina por cocción tuvo un rendimiento del 34.27%, produciendo 0.485 kg de harina fina de pejibaye.

# Índice

Opinión del tutor.....	I
Agradecimiento .....	II
Dedicatoria.....	III
Resumen .....	VI
I. Introducción.....	1
II. Objetivos.....	2
2.1 Objetivo general:.....	2
2.2 Objetivos específicos: .....	2
III. Marco teórico.....	3
3.1 Generalidades del pejibaye ( <i>Bactris gasipaes</i> ).....	3
3.2 Requerimientos del cultivo.....	4
3.2.1 Suelo .....	4
3.2.2 Temperatura.....	4
3.3 Caracterización botánica, biológica y fisiológica del pejibaye .....	4
3.3.1 Caracterización botánica.....	4
3.3.2 Caracterización fisiológica .....	5
3.3.3 Caracterización biológica .....	5
3.4 Composición química del pejibaye.....	5
3.4.1 Carotenoides .....	6
3.4.2 Grasa del pejibaye .....	6
3.4.3 Carbohidratos y fibra dietética .....	6
3.4.4 Minerales.....	7
3.4.5 Proteína.....	7
3.4.6 Composición nutricional.....	8
3.5 Harina de pejibaye .....	8
3.5.1 Harina .....	8
3.5.2 Importancia de la harina de pejibaye.....	9
3.6 Operaciones unitarias involucradas en la obtención de harina de pejibaye.....	10
3.6.1 Cocción.....	10
3.6.2 Secado.....	10
3.6.3 Molienda.....	11
3.6.4 Tamizado .....	11

3.7 Método de obtención .....	12
3.7.1 Secado por convección forzada.....	12
3.7.2 Cocción.....	12
3.8 Análisis físicos-químicos.....	12
3.8.1 Humedad.....	13
3.8.2 Proteína.....	13
3.8.3 Cenizas.....	13
3.8.4 Grasa cruda.....	13
3.8.5 Carbohidratos.....	13
3.8.6 Fibra cruda.....	13
IV. Metodología.....	14
4.1 Ubicación del estudio.....	14
4.2 Material.....	15
4.3 Validación del proceso de obtención de la harina de pejibaye a nivel de laboratorio	16
4.4 Metodología.....	18
Proceso de obtención de harina por cocción.....	18
Proceso de obtención de harina por deshidratación.....	22
V. Resultados.....	43
5.1 Rendimiento de la harina de pejibaye.....	43
5.2 Caracterización de la harina de pejibaye .....	46
5.3 Espectro infrarrojo de la harina de pejibaye.....	48
5.4 Determinación de granulometría .....	52
5.5 Determinación del pH.....	55
VI. Conclusiones.....	56
VII. Recomendaciones .....	57
VIII. Bibliografía .....	58
ANEXOS .....	63

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Pejibaye .....	
Ilustración 2 Horno de Secado al Vacío Fuente .....	10
Ilustración 3 6FY Molino de Harina.....	11
Ilustración 4 Tamiz vibratorio industrial .....	11
Ilustración 5. Ubicación De Laboratorio De La Universidad Nacional De Ingeniería. A) Laboratorio De Operaciones Unitarias. B) Laboratorio De Procesos. C) Laboratorio de Alimentos.....	14
Ilustración 6 Diagrama de proceso para la obtención de harina de pejibaye por cocción....	16
Ilustración 7 Diagrama de proceso de obtención para harina de pejibaye por deshidratación .....	17
Ilustración 8 Pejibayes seleccionados según los criterios a seguir.....	18
Ilustración 9 Lavado de los pejibayes.....	18
Ilustración 10 Pesado de los pejibayes después del proceso de lavado.....	19
Ilustración 11 Cocción de los pejibayes .....	19
Ilustración 12 Eliminación de semilla, cáscara y corola.....	20
Ilustración 13 Secado de la harina de pejibaye por cocción.....	20
Ilustración 14. Triturado de pejibaye.....	21
Ilustración 15. Harina de pejibaye por cocción obtenida. ....	21
Ilustración 16. Harina por cocción obtenida luego del tamizado .....	21
Ilustración 17. Pejibayes seleccionados según los criterios a seguir .....	22
Ilustración 18. Lavado de pejibayes. ....	22
Ilustración 19 Pelado y troceado para la harina por deshidratación. ....	23
Ilustración 20 Secado al horno de la materia prima. ....	23
Ilustración 21 Triturado De Pejibaye.....	24
Ilustración 22 Harina de pejibaye por deshidratación obtenida.....	24
Ilustración 23 Harina por deshidratación luego del tamizado .....	24
Ilustración 24. Determinación de porcentaje de humedad.....	25
Ilustración 25 Pesado de harina por cocción y deshidratado.....	26
Ilustración 26. Colocación de las muestras en una mufla marca thermoscientific .....	26
Ilustración 27 Pesaje de cenizas. A) Pesaje de ceniza por cocción. B) Pesaje de ceniza por deshidratación.....	26
Ilustración 28 Digestor Kjeldahl. Marca Raypal.....	
Ilustración 31 Montaje de equipo para la determinación de grasa en la harina de pejibaye mediante la extracción sólido-líquido.....	30
Ilustración 32 Muestra obtenida luego de 6 horas de filtración de agua .....	30
Ilustración 34 Grasa obtenida de las muestras de harina con hexano.....	32
Ilustración 36 Pesado de muestras de las harinas .....	33
Ilustración 37 Muestras de harinas en el desecado.....	33
Ilustración 38 Traspaso de las harinas en envases microbiológicos.....	33
Ilustración 39 Muestras de harina por cocción y deshidratación.....	34
Ilustración 40 Agitado de las muestras.....	34
Ilustración 40 Filtrado de hexano hasta separar la fibra, el aceite y hexano. Fuent.....	34

Ilustración 41	Proceso de evaporación del reactivo en una estufa a 100°C .....	35
Ilustración 42	Reducción del volumen de la solución.....	35
Ilustración 43	Determinación de absorción infrarroja en la harina de pejibaye mediante el espectrofotómetro infrarrojo. Marca Bruker.....	36
Ilustración 44	Operación de homogenización de muestra de harina de pejibaye y bromuro de potasio.....	37
Ilustración 45	Pastilla fina obtenida luego de la fuerte presión ejercida al troque especial.	37
Ilustración 46	Espectrofotómetro infrarrojo para su posterior análisis de las muestras.....	38
Ilustración 47.	Tamizador usado para la obtención de la harina fina.....	38
Ilustración 48	Lectura del pH con potenciómetro .....	39
Ilustración 49	Resultado de la lectura del pH.....	39
Ilustración 50	Pelado de papas .....	40
Ilustración 51	Cocción de las papas .....	41
Ilustración 52	Especias adicionadas a la mezcla.....	41
Ilustración 53	Mezclado de los ingredientes .....	41
Ilustración 54	Moldeado de la masa en forma de bolillos.....	42
Ilustración 55	Resultado del moldeado de la masa.....	42
Ilustración 56	Bolillos de snack fritos en freidora de aire.....	42
Ilustración 57	Balance de materia para harina de pejibaye por cocción.....	43
Ilustración 58	Balance de materia para harina de pejibaye por deshidratación.....	44
Ilustración 59	Espectro infrarrojo absorbancia de las vibraciones moleculares en la harina de pejibaye por cocción.....	49
Ilustración 60	Espectro infrarrojo absorbancia de las vibraciones moleculares en la harina de pejibaye por deshidratación.....	50
Ilustración 61	Espectro FTIR de la muestra de almidón de yuca).....	51
Ilustración 62	Curva granulométrica de harina de pejibaye por cocción .....	52
Ilustración 63	Curva granulométrica de harina de pejibaye por deshidratación .....	54
Ilustración 64	Fruto de Bactris gasipaes.....	63
Ilustración 65	Lavado de pejibaye.....	63
Ilustración 66	Pesado del pejibaye .....	64
Ilustración 67	Reducción de tamaño del fruto.....	64
Ilustración 68	Proceso de deshidratado .....	65
Ilustración 70	Pejibaye cocido previamente del secado .....	65
Ilustración 71	Pesado de pejibaye luego del secado.....	66
Ilustración 72	Triturado de pejibaye.....	66
Ilustración 73	A) Harina de pejibaye cocida. B) Harina de pejibaye deshidrata obtenida..	67
Ilustración 74	Numeración del tamaño de tamiz.....	67
Ilustración 75	Muestras de las harinas para el análisis de fibra.....	68
Ilustración 76	Muestras de harina con hexano .....	68
Ilustración 77	Condensado y calentado de las soluciones.....	68
Ilustración 78	Filtrado de la fibra .....	69
Ilustración 79	A) pesado de la prueba de ceniza de la harina cocida. B) Pesado de la prueba de ceniza de la harina deshidratada .....	69

Ilustración 80 Montaje de equipo para la determinación de grasa en la harina de pejibaye mediante la extracción sólido-líquido. Equipo extractor Soxhlet.....	70
Ilustración 81 Pesado de aceite obtenido de la harina cocida.....	70
Ilustración 82 Pesado de la harina deshidratada.....	71
Ilustración 83 Aceite obtenido de las harinas.....	71
Ilustración 84 Homogenización de muestra de harina de pejibaye y bromuro de potasio... ..	72
Ilustración 85 Pastilla fina obtenida luego de la fuerte presión realizada al troquel especial .....	72

## Índice de tablas

Tabla 1 Contenido de aminoácidos esenciales del fruto entero de pejibaye .....	7
Tabla 2 composición nutricional para una unidad (30 g) de pejibaye comestible.....	8
Tabla 3 Composición química de la harina de pejibaye en 100 g de muestra.....	9
Tabla 4 Materiales Y Equipos .....	15
Tabla 5. Reactivos Y Materia Prima .....	15
Tabla 6 Resultados de la determinación de las propiedades funcionales de harina de pejibaye .....	46
Tabla 7 Granulometría por tamizado de harina de pejibaye por escaldado.....	52
Tabla 8 Granulometría por tamizado de harina de pejibaye por deshidratación.....	53
Tabla 9 Resultado de la determinación de pH de harina de pejibaye por dos tratamientos térmicos .....	55

## **I. Introducción**

La necesidad de aportar a la nueva tendencia de una “vida saludable” ha crecido durante los últimos años a nivel internacional y nacional, formando parte de este cambio se une la alimentación funcional para personas veganas, donde se busca satisfacer la necesidad de elaborar nuevos productos cada vez más diferenciados con los productos de distintos orígenes.

Existen muy pocas fábricas que utilizan el pejibaye para elaborar harina y conservas, así como también la elaboración de distintos subproductos para ello se encontró que Costa Rica es uno de los países que más ha investigado de manera más profunda acerca de la fruta del palmito de pejibaye y el desarrollo de distintos productos y sus derivados. (Quirós, 2007).

En Nicaragua las regiones del Caribe y la Costa Atlántica se distinguen como principales departamentos productores del pejibaye, además de que es una gran productora de materias primas, (Mora y Sandoval, 2019) pero se ha quedado rezagada en la producción de bienes con valor agregado por lo que es necesario trabajar su industrialización para el aprovechamiento de las distintas materias primas que nuestro país tiene para ofrecer como producto iniciando con la elaboración de la harina a partir del fruto de pejibaye debido que este no se han encontrado investigaciones.

El pejibaye es un fruto que cada día adquiere mayor importancia debido a su alto valor nutritivo. Pues este posee minerales como calcio, hierro, zinc, fósforo, magnesio y cobre. Además, tiene una alta concentración de beta-caroteno en donde el beta-caroteno se transforma en una vitamina A, además de actuar como un antioxidante, que ayuda al sistema inmunológico a protegerse de diversas enfermedades, tiene un alto contenido de carbohidratos y aminoácidos, lo que la convierte en una fuente energética natural. (MEFFCA, 2023)

Con el fin de aprovechar el alto contenido de valor nutricional que contiene el pejibaye es que se desea obtener harina a base de dicha fruta, ya que la fruta de pejibaye cuenta con ácidos grasos insaturados, un alto contenido de proteína y carotenoides que nuestro cuerpo necesita; de esta forma se busca aportar nueva información alternativa de lo que podemos lograr con la obtención de la harina a base de pejibaye.

## **II. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general:**

- Obtener harina de pejibaye (*Bactris gasipaes*) a escala de laboratorio como alimento funcional en la dieta vegana.

### **2.2 Objetivos específicos:**

- Determinar las operaciones unitarias que se involucran en el proceso de la elaboración de la harina de pejibaye.
- Evaluar dos métodos de obtención de la harina de acuerdo al tratamiento a realizar a la materia prima con el fin de comparar el rendimiento de cada una.
- Realizar análisis físico-químico para establecer la calidad de la harina de pejibaye obtenida.
- Elaborar un producto para la dieta vegana empleando harina de pejibaye.

### III. Marco teórico

#### 3.1 Generalidades del pejibaye (*Bactris gasipaes*)

El pejibaye es una palmera que puede alcanzar hasta 20 metros de altura. En la dieta de la población precolombina, se constituyó en un alimento relevante. Este producto es nativo del trópico americano, el cual se extiende desde Nicaragua hasta Bolivia. (Mora *et al.*, 1997)

El fruto de esta palmera consiste en una drupa, la cual crece en grandes racimos de aproximadamente 50-100 unidades (Leterme *et al.*, 2005); como se muestra en la Ilustración 1, estos frutos presentan tonalidades que pueden ir desde el rojo hasta el amarillo (Camacho, 1972). En algunos casos presentan también estrías y su forma puede ser cónica, ovoide, o elíptica; sus dimensiones varían de 2 a 7 cm de longitud y peso entre los 4-186 g (Mora *et al.*, 1996). La fracción comestible está constituida por el mesocarpio (pulpa), generalmente, de color amarillo, naranja claro o rojizo (Pinzón *et al.*, 2015).



*Ilustración 1 Pejibaye Fuente:( Fallas, 2023)*

De acuerdo a Mora Urpí (1999) el pejibaye crece en bosques húmedos neotropicales con precipitaciones de 2.500 mm o más y temperaturas mínimas de 24°C. Está escasamente distribuida; y está asociada a micorrizas, lo que le permite crecer en una gran variedad de suelos. Tiene una gran reserva genética en los parientes silvestres con sistemas de reproducción sexual alógama. Las palmeras cultivadas crecen mejor en suelos fértiles

ligeramente pesados, con precipitaciones superiores a 2.000 mm y buen drenaje, también crece bien bajo riego aéreo, incluso en climas secos, con temperaturas de 24°C y superiores

En Nicaragua las palmeras de pejibaye crecen hasta 30 metros de alto y tienen espinas en todo su tronco. Una vez que entran en cosecha por septiembre y octubre, Cada palmera produce de cinco a seis racimos, cada racimo da más de 100 pejibayes y da dos cosechas al año (Vallecillo, 2018).

## **3.2 Requerimientos del cultivo**

### **3.2.1 Suelo**

El Pejibaye puede desarrollarse adecuadamente en una amplia gama de suelos que van desde los arcillosos hasta los franco-arenosos, siendo el factor más limitante para su desarrollo el mal drenaje y la impermeabilidad del suelo. Los suelos aluviales son más favorables para su desarrollo y producción, siempre y cuando no se inunden periódicamente por periodos prolongados. La planta está adaptada y crece satisfactoriamente en suelos con pH que van de 4.0 hasta 6.0.

### **3.2.2 Temperatura**

Las temperaturas adecuadas para el buen desarrollo del pejibaye están entre los 24°C y 28°C. Aun cuando el límite superior de la temperatura en la cual crece es difícil de establecer, se conoce que desarrolla normalmente en las condiciones de temperatura medias de 25°C o mayores, siempre que haya un adecuado suministro de agua. La temperatura y la distribución de las lluvias determinan la tasa de crecimiento, así como la época de floración y fructificación. Por este motivo, frecuentemente se observa variación en la época de producción de frutos en una misma zona, dependiendo de la distribución de las lluvias.

## **3.3 Caracterización botánica, biológica y fisiológica del pejibaye**

En los próximos acápite, se llevará a cabo una breve exposición de las principales características del pejibaye.

### **3.3.1 Caracterización botánica**

El pejibaye es una palma que puede llegar hasta los 20 metros de alto y se caracteriza por el tronco cubierto de espinas, una característica de las palmas del género *Bactris*. Las hojas pinadas pueden llegar hasta los 3 metros de largo. El fruto es una drupa con la pulpa comestible que rodea una semilla (Orozco, 2023).

### **3.3.2 Caracterización fisiológica**

El pejibaye es monoico y produce dos floraciones al año (Vilaplana, 1982). Los racimos se producen en el tronco inmediatamente debajo de las últimas hojas y están protegidos por espatas erectas y fuertes. Las flores estaminadas son de colores blanco amarillento, provistos de seis estambres arreglados en tres pares, opuestos a los lóbulos de la carola.

Algunas investigaciones revelan que las flores del pejibaye son genéticamente auto estériles, por lo cual su polinización es cruzada para su fecundación. (Vilaplana, 1982).

El fruto es de forma cónica, ovoide o a veces elipsoide, de 2,4 a 4,5 centímetros de diámetro por 2 a 5 centímetros de longitud (Fournier).

Existe mucha variabilidad respecto al color, ya sea desde verde pálido, amarillo anaranjado, rojo y colores intermedios; como también la cáscara puede ser lisa, áspera, rayada (Barquero, 1977 y Brenes, 1988).

### **3.3.3 Caracterización biológica**

Las plantaciones comerciales de palmito no tienen una variedad definida, la semilla se obtiene de diversos lugares del país y por el tipo de polinización (cruzada) la variabilidad genética es alta. No obstante, existe una variedad conocida como diamantes sin espinas, con rendimiento superiores tanto en campo como industria (Arroyo y Mora Urpí 2003b; Bogantes et al. 2004) y con un valor agregado alto, la ausencia de espinas, facilita el manejo y disminuye los accidentes.

### **3.4 Composición química del pejibaye**

Este fruto es importante por su alto valor nutritivo, debido a su contenido de precursores de vitamina A, aporte energético, fibra y la calidad de los ácidos grasos, así como de pequeñas cantidades de vitamina C, niacina, tiamina y Riboflavina (Gómez, 1997). De igual forma, se ha encontrado que posee un contenido importante de lípidos insaturados (Leakey, 1999) y posee proteínas de buena calidad, ya que estas poseen todos los aminoácidos esenciales (Mora *et al.*, 1996).

### **3.4.1 Carotenoides**

Son pigmentos liposolubles de origen vegetal y algunos de origen animal, su importancia radica principalmente en sus propiedades como antioxidantes, adicionalmente como fuente precursora de provitamina A. El color anaranjado de la pulpa del pejibaye se relaciona directamente con la cantidad de carotenos, es tan alto su contenido en este fruto que se ha recomendado como fuente industrial de esta sustancia, pues su contenido es mayor que el de la zanahoria, el mango y zapote (Zapata, 1978).

El pejibaye es una fuente importante de carotenoides (provitamina A), vitamina C, fibra dietética y otros nutrientes. Un pejibaye mediano (50 g) suple en promedio entre un 15% y un 100% o más de las necesidades diarias de vitamina A y C del adulto (López *et al.*, 2015).

Presenta un alto contenido de compuestos carotenoides, los cuales pueden oscilar entre 4.8 y 29.6 mg/100g de base seca (Blanco y Muñoz, 1992), e incluso llegando a valores de 708 mg/100g (Johannes en, 1967). Estos compuestos no se destruyen fácilmente durante la cocción (González *et al.*, 2002) y su capacidad antioxidante les permite retardar o prevenir la oxidación de moléculas orgánicas.

### **3.4.2 Grasa del pejibaye**

La presencia de grasa en el pejibaye lo convierte en un alimento con un alto contenido energético. Su punto de fusión es cercano a los 40°C, presenta un excelente sabor, olor y un color amarillo rojizo oscuro debido al alto contenido de carotenos (Zapata, 1978). La materia grasa del pejibaye tiene una consistencia semisólida a temperatura ambiente, cerca del 36% de los ácidos grasos son saturados y el 64% son insaturados, donde se encuentra un 49% de ácidos grasos monoinsaturados y 15% de polinsaturados (Fernández *et al.*, 1992).

### **3.4.3 Carbohidratos y fibra dietética**

En el pejibaye los carbohidratos representan el principal componente, cuya característica nutricional más importante es que se encuentra un alto porcentaje de fibra dietética y bajo contenido de azúcares simples (Blanco, 1992). El contenido de carbohidratos totales del pejibaye se encuentra entre 29.3 y 34.4 g en 100 g de fruto fresco. Estas cantidades superan los presentes en otros frutos y vegetales, y se puede comparar con otras fuentes de energía como cereales, granos y tubérculos (Fernández *et al.*, 1992).

La fibra dietética puede clasificarse de acuerdo con su solubilidad en agua como soluble e insoluble. Por su parte, Yuyama *et al.* (2003) mencionan que, en el caso de la fibra, se nota una predominada de la fibra insoluble sobre la fibra soluble. En el pejibaye crudo, blanco (1992) indica que su contenido de fibra total es de 5.9 % de los cuales un 4.1 % corresponde a fibra insoluble y un 1.8 % fibra soluble.

#### 3.4.4 Minerales

Con respecto al contenido de minerales se ha determinado que en el pejibaye se presenta como uno de sus principales componentes el potasio el cual se encuentra en contenidos cercanos a los  $229 \pm 4$  mg %. Otros minerales son el calcio, magnesio y hierro, los cuales tienen valores de  $15.3 \pm 3.9$  mg %,  $16.6 \pm 4.1$  mg % y  $0.8 \pm 0.0$  mg % respectivamente en la fruta fresca, mientras que el contenido es muy bajo ( $3.7 \pm 0.2$  mg %) (Fernández *et al.*, 1992).

#### 3.4.5 Proteína

Las proteínas se encuentran entre los nutrientes más importantes, debido a su naturaleza nitrogenada, la cual es necesaria para la síntesis de compuestos propios del organismo. Las proteínas son compuestos altamente polimerizados, que están formados por  $\alpha$ -aminoácidos de configuración L (Matissek, 1998).

El contenido de composición de aminoácidos que contiene el pejibaye se muestra en la Tabla 1 de aminoácidos esenciales del fruto entero.

Tabla 1 Contenido de aminoácidos esenciales del fruto entero de pejibaye

Aminoácido	Contenido en el pejibaye (g/100g)
Arginina	0.29
Glicina	0.27
Histidina	0.09
Isoleucina	0.16
Leucina	0.28
Lisina	0.21
Metionina	0.08
Fenilalanina	0.14
Treonina	0.18
Tirosina	0.14
Valina	0.19
Proteína %	5.10

Fuente: Murillo, 1987

El valor nutritivo de las numerosas proteínas alimentarias existentes depende de su digestibilidad, que depende a su vez de la composición de aminoácidos. El valor proteico del chontaduro es similar al de los cereales, con un promedio de 8,69 gramos por cada 100 gramos de la fruta.

### 3.4.6 Composición nutricional

El contenido de valor nutricional de un pejibaye mediano de 30 gramos se encuentra en la Tabla 2 que se muestran los distintos componentes que cuenta el fruto.

*Tabla 2 composición nutricional para una unidad (30 g) de pejibaye comestible*

<b>Componente</b>	<b>Contenido</b>
Calorías	59 kcal
Proteína	0.78 g
Grasa	1.32 g
Carbohidratos	12.5
Vitamina C	10.5 mg
Vitamina A	67 µg
Agua	73%
Fibra dietética total	3 g
Ceniza	0.72 g
Calcio	8 mg

Fuente: MEFCCA, 2023

## 3.5 Harina de pejibaye

### 3.5.1 Harina

Harina es el polvo más o menos fino que se obtiene de la molienda de un cereal o leguminosa seca. Se puede obtener harina de distintos cereales. Aunque la más habitual es la harina de trigo elemento habitual en la elaboración del pan, también se hace harina de centeno, de cebada, de avena, de maíz o de arroz y existen también otros tipos de harinas obtenidas de otros alimentos como leguminosas (garbanzos, soja), castaña, mandioca, etc. (Sifre *et al.*, 2019).

La harina de trigo posee un nutriente esencial, el gluten, que la hace apta para la formación de una gran variedad de alimentos. Está formado por dos proteínas básicas, las gluteninas, encargadas de proporcionar fuerza y tenacidad, y las gliadinas, responsables de la elasticidad.

### 3.5.2 Importancia de la harina de pejibaye

La harina de pejibaye se obtiene por medio de un proceso donde se realiza la cocción o escaldado de los frutos del pejibaye. Luego estos frutos son deshidratados usualmente con aire caliente o al sol y finalmente molidos por un molino de martillos (Arguello *et al.*, 1999).

La harina de pejibaye es un producto que conserva gran parte del valor alimenticio del fruto fresco, se puede almacenar fácilmente y muy versátil (Ugalde y Pineda, 2004); además, es un producto muy estable, pues se menciona que puede conservarse por lapsos de 6 meses e incluso mayores (Mora *et al.*, 1996). Este tipo de harina está siendo buscado por el mercado de alimentos orgánicos, principalmente por su contenido vitamínico (Dibari, 1997).

La harina de pejibaye presenta un alto contenido nutricional ya que tiene una gran variedad de vitaminas y minerales esenciales, así como por ser un producto que aporta un alto valor energético como se presenta en la Tabla 3.

*Tabla 3 Composición química de la harina de pejibaye en 100 g de muestra*

<b>Componente</b>	<b>Contenido</b>	<b>Componente</b>	<b>Contenido</b>
Energía, cal	413.5	Vitamina B2, mg	0.3
Humedad, g	12.0	Vitamina C, mg	62.2
Proteína, g	3.8	Niacina, mg	2.5
Grasa, g	8.9	Hierro, mg	6.1
Almidón, g	1.3	Calcio, mg	10.9
Fibra cruda, g	2.1	Sodio, mg	2.7
Carbohidratos, g	72.1	Potasio, mg	162.8
Vitamina A, µg eq	1.2	Magnesio, mg	11.7
Vitamina B1, mg	0.1	Zinc, mg	2.1

Fuente: Fernández, 1992

## 3.6 Operaciones unitarias involucradas en la obtención de harina de pejibaye

### 3.6.1 Cocción

La cocción es un proceso en el que se origina un incremento de la permeabilidad celular del vegetal por lo que se ve favorecida la cesión de las sustancias solubles al agua en la cual se realiza dicha cocción, enriqueciéndose en los nutrientes solubles que se han disuelto en ella, o en los compuestos contaminantes. Durante la cocción, el calor provoca modificándose químicas y físicas del alimento que mejoran el aroma, sabor y la digestibilidad del producto y que puede mejorar su conservación.

### 3.6.2 Secado



*Ilustración 2* Horno de Secado al Vacío Fuente: (ZZKD INSTRUMENT, 2023)

El secado consiste en eliminar la mayor parte del agua de los alimentos, por evaporación aplicando calor para obtener como producto final un sólido. Los principales parámetros a controlar son: tiempo, temperatura del aire, humedad relativa y la velocidad del aire como condiciones de las variables de proceso, en base a la naturaleza de los alimentos y en particular del diseño del secador (Sivakumar *et al.*, 2016). Las condiciones de secado durante el procesamiento influyen en gran medida en los atributos de calidad del material biológico esto no solo implica cambios a nivel nutricional, sino también cambios físicos, de textura, sensoriales y funcionales. (Sivakumar *et al.*, 2016).

### 3.6.3 Molienda



Ilustración 3 6FY Molino de Harina Fuente: (Agico, 2023)

La molienda es el proceso de reducción de tamaño de partículas sólidas sometidas a un esfuerzo mecánico, en el que la fractura ocurre con el rompimiento de las fuerzas de unión molecular internas con respecto a las fuerzas externas. Es el resultado de la operación de molienda depende por una parte en gran medida de la naturaleza del alimento y las propiedades del material, y, por otra parte, de la tecnología utilizada, la distribución y la intensidad de la fuerza aplicada por el equipo de molienda. (Karam *et al.*, 2016).

### 3.6.4 Tamizado



Ilustración 4 Tamiz vibratorio industrial Fuente: (Agico, 2023)

Es un método de separación donde se separan partículas de distinto tamaño. Para esto, se utiliza un tamiz resistente, cuyas aberturas o poros permitan el paso de la materia sólida que tiene menor tamaño y retenga las partículas más grandes. Las propiedades físicas de un producto pulverulento están directamente relacionadas con el tamaño de las partículas. Las características granulométricas de una materia prima procesada, constituyen un aspecto importante en la formulación de productos de panificación, ya que una distribución adecuada de partículas, permite una mayor uniformidad del producto final (Souza, 2010).

### **3.7 Método de obtención**

#### **3.7.1 Secado por convección forzada**

En la mayoría de los casos se utiliza (como medio deshidratante) aire caliente que fluye a través del producto dispuesto en bandejas o cintas de transporte, removiendo el agua desde la superficie del alimento. Esta técnica es apropiada para materiales sólidos como granos, frutas y vegetales de relativamente bajo valor (comercial). Generalmente se utiliza en procesos continuos.

Es un método térmico que involucra simultáneamente la transferencia de calor y masa. Consiste en reducir el contenido de humedad de un sólido húmedo, mediante la aceleración de la evaporación, suministrando calor. La humedad contenida en el sólido debe migrar desde el interior del sólido hacia la superficie.

#### **3.7.2 Cocción**

Mediante la cocción se modifican los componentes físicos y bioquímicos del alimento, mediante uno o varios de estos procesos: ablandamiento, coagulación, hinchamiento o disolución. Con la cocción de los pejibayes se conseguirá que se ablande, facilitando la digestión.

El método a utilizar es por ebullición el cual es un método muy corriente para cocinar alimentos por vía húmeda. La temperatura a la que asciende el agua es 100 °C.

### **3.8 Análisis físicos-químicos**

El análisis físico químico se encarga de medir diversas propiedades como temperaturas, conductividad, densidad, viscosidad o dureza con el objetivo de garantizar la calidad alimentaria de tus productos.

Este análisis implica la caracterización de los alimentos desde los puntos de vista físico y químico, haciendo énfasis en que sustancias están presentes en el alimento y la cantidad de estos compuestos, este tipo de análisis cumple un papel muy importante en la determinación del valor nutricional de los alimentos, en el control del cumplimiento de los parámetros exigidos por los organismos de salud y también para el estudio de las posibles irregularidades como adulteraciones, falsificaciones, etc. Es necesario realizar un análisis de alimentos para asegurar que sean aptos para el consumo humano y para asegurar que cumplen con las características y composición que se espera de ellos (Atencia, 2018).

### **3.8.1 Humedad**

Es fundamental conocer el contenido de agua en cada uno de sus elementos; así mismo, es necesario vigilar la humedad en el alimento preparado, ya que niveles superiores al 8% favorecen la presencia de insectos y arriba del 14%, existe el riesgo de contaminación por hongos y bacterias (Cockerell *et al.*, 1971).

### **3.8.2 Proteína**

Es este el nutriente más importante en la dieta en una operación comercial; su adecuada evaluación permite controlar la calidad de los insumos proteicos que están siendo adquiridos o del alimento que se está suministrando.

### **3.8.3 Cenizas**

La ceniza de un alimento representa su residuo inorgánico, después de que la porción orgánica y otras sustancias volátiles han sido oxidadas y evaporadas. La ceniza frecuentemente puede servir como medida de la adulteración de los alimentos (González, 2004).

### **3.8.4 Grasa cruda**

La grasa cruda es un término que se utiliza para referirse a la mezcla cruda de materiales liposolubles presentes en la muestra. El contenido lipídico puede incluir triglicéridos, diglicéridos, monoglicéridos, fosfolípidos, esteroides, ácidos grasos libres, vitaminas liposolubles, pigmentos carotenoides, clorofila, etc. (González, 2004).

### **3.8.5 Carbohidratos**

La palabra carbohidrato se deriva de la fórmula química que presentan la mayor parte de los compuestos de este tipo  $C_n(H_2O)_n$ . Los carbohidratos se presentan en las frutas y vegetales como una reserva de almacenamiento además de presentarse en las semillas, raíces y tubérculos.

### **3.8.6 Fibra cruda**

La fibra cruda es una medida de la cantidad de componentes de origen vegetal que se encuentran en un alimento.

## IV. Metodología

### 4.1 Ubicación del estudio

La investigación se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, Laboratorio de Alimentos y Laboratorio de Procesos, de la Facultad de Ingeniería Química, de la Universidad Nacional de Ingeniería ubicados en Recinto Universitario Simón Bolívar, como muestra en la Ilustración 5, en dónde se realizó la obtención de la harina fina de pejbaye, sus caracterizaciones proximales y la fase experimental de la obtención del producto final.



*Ilustración 5. Ubicación De Laboratorio De La Universidad Nacional De Ingeniería. A) Laboratorio De Operaciones Unitarias. B) Laboratorio De Procesos. C) Laboratorio De Alimentos. Fuente: Google Maps UNI-RUSB-Managua.*

## 4.2 Material

En el proceso de obtención de harina y de la película a partir de esta materia, involucraron la utilización de una gama específica de materiales, equipos y reactivos; los cuales se detallarán en las Tabla 4 y Tabla 5.

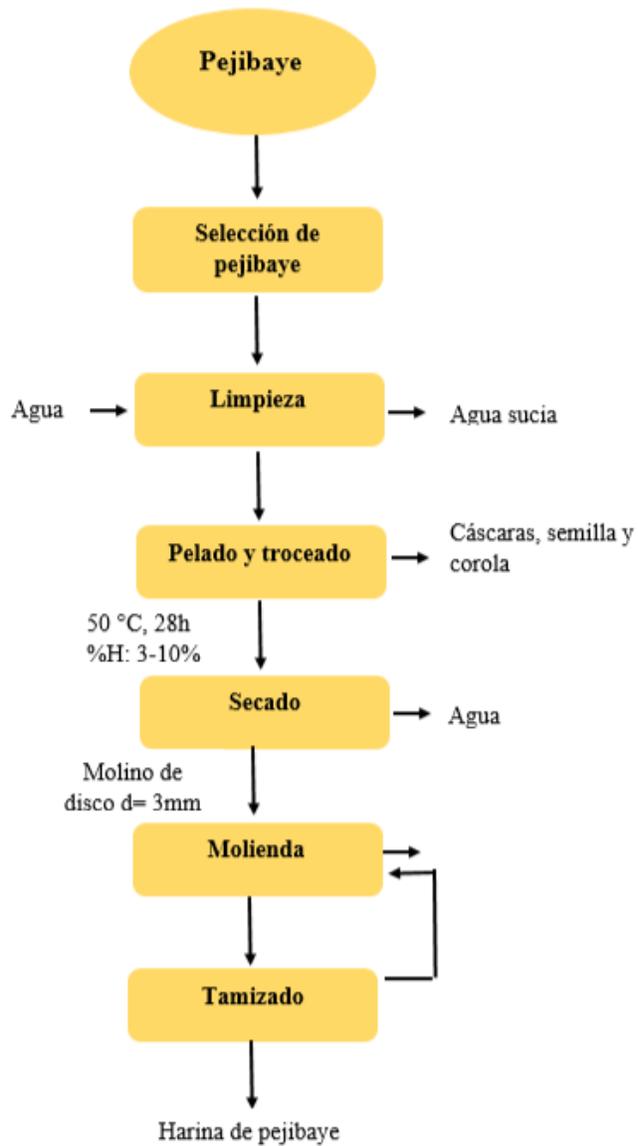
*Tabla 4 Materiales Y Equipos*

Materiales y Equipos				
Molino Manual de tornillo sin fin y disco giratorio	Balanza digital Radwag modelo: PS 6000/C/2	Balanza digital	Extractor Soxhlet	Desecador
Horno marca: Fisher modelo: Scientific Isothermp	Mufla marca: Thermoscientific modelo: Thermolyne	Tamizadora marca: W.S Tyler modelo RX-29	Tubos de ensayos	Crisol
Rota vapor marca: Buchi modelo: Rotqavapor R-124	Dedal de extracción de algodón de celulosa	Analizador de humedad marca: Sartorius modelo: MA 150	Cuchillo de cocina	Erlenmeyer
Embudo	Papel filtro	Balón matraz	Mortero de ágata	Bandejas metálicas
Ollas de acero	Beaker	Cápsula de aluminio	Espátula de metal	Recipiente de plástico
Espectro IR				

*Tabla 5. Reactivos Y Materia Prima*

Reactivos	Materia prima
Agua destilada	Pejibaye
Hidróxido de sodio (NaOH) Sulfato de cobre	Agua
(CuSO <sub>4</sub> ) Éter etílico anhidro Detergente neutro Hexano (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	Maicena
Amilasa antiespumante sulfito de sodio acetona	Sal
Bromuro de potasio (KBr)	Pimienta
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Orégano





*Ilustración 7 Diagrama de proceso de obtención para harina de pejibaye por deshidratación.  
Fuente: Elaboración propia*

#### **4.4 Metodología**

##### **Proceso de obtención de harina por cocción**

##### **Selección de la materia prima:**

Inicialmente los pejibayes se seleccionaron sensorialmente por el tacto y visualmente eliminando todos aquellos frutos que presentaron rajaduras, golpes, algún otro desperfecto en su superficie o que tenían mal olor como se muestra en la Ilustración 8.



*Ilustración 8 Pejibayes seleccionados según los criterios a seguir. Fuente: Elaboración Propia.*

##### **Limpieza de la materia prima**

Los pejibayes seleccionados se ingresaron en un recipiente de plástico como se muestra en la Ilustración 9, con 2 litros de agua en dónde se realizó la limpieza de las malangas, quitándole toda la suciedad y cualquier protuberancia que se encontró en la corteza, que podían perjudicar la intoxicación alimentaria y prevenir la alteración del alimento, disminuyendo la carga microbiana y mejorar la calidad del producto final.



*Ilustración 9 Lavado de los pejibayes. Fuente: Elaboración propia*

## **Pesado**

Posteriormente se realizó la operación de pesado de todos los pejibayes como se muestra la ilustración 10, siendo este uno de los factores para determinar el rendimiento. Teniendo como dato preliminar de un peso promedio de 1.415kg.



*Ilustración 10 Pesado de los pejibayes después del proceso de lavado. Fuente: Elaboración propia*

## **Cocción**

Para esta operación se tomó 1.415 kg de pejibayes que fueron sumergidos en una olla de acero inoxidable con agua suficiente para cubrirlos completamente, los cuales se mantuvieron en ebullición por 30 minutos como se muestra en la Ilustración 11.



*Ilustración 11 Cocción de los pejibayes. Fuente: Elaboración propia*

### **Pelado y troceado**

Una vez que el fruto estuvo a temperatura ambiente se procedió a pelar el fruto, eliminando la semilla y la corola, se troceó en rodajas de aproximadamente 0.3 cm de espesor y posterior se dejó sobre bandejas de acero para su secado como se muestra en la Ilustración 12.



*Ilustración 12 Eliminación de semilla, cáscara y corola. Fuente: Elaboración propia*

### **Secado**

Después de cortar y pelar los pejibayes se colocaron en una bandeja hasta llenarla. Para este proceso los pejibayes fueron sometidos a 50°C por 28 horas, como se muestra en la Ilustración 13, se utilizó un horno marca Fischer Scientific.



*Ilustración 13 Secado de la harina de pejibayes por cocción. Fuente: Elaboración propia*

## **Molienda**

La molienda se realizó en un molino de discos donde se trituro tanto el pejibaye que fue cocido, como el que solo fue deshidratado como se muestra en la Ilustración 14, hasta obtener pejibaye molido como se muestra en la Ilustración 15.



*Ilustración 14. Triturado de pejibaye. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 15. Harina de pejibaye por cocción obtenida. Fuente: Elaboración propia*

## **Tamizado**

Se utilizó un tamizador con mallas N° 8, 12, 35, 50, 80, 150, 230 para obtener un tamaño de partícula menor de 0.5 mm como se muestra en la Ilustración 16.



*Ilustración 16. Harina por cocción obtenida luego del tamizado. Fuente: Elaboración propia*

## Proceso de obtención de harina por deshidratación

### Selección de la materia prima

Inicialmente los pejibayes se seleccionaron sensorialmente por el tacto y visualmente eliminando todos aquellos frutos que presentaron rajaduras, golpes o algún otro defecto en su superficie o que tenían mal olor como se muestra en la Ilustración 17.



*Ilustración 17. Pejibayes seleccionados según los criterios a seguir. Fuente: Elaboración Propia*

### Limpieza de la materia prima

Los pejibayes seleccionados se ingresaron en un recipiente de acero como se muestra en la Ilustración 18, con 2 litros de agua clorada en donde se realizó la limpieza de las malangas, quitándole toda la suciedad y cualquier protuberancia que se encontró en la corteza, que podían perjudicar los valores del pesado, disminuyendo la carga microbiana y mejorar la calidad del producto final.



*Ilustración 18. Lavado de pejibayes. Fuente: Elaboración propia*

### **Pelado y troceado**

Pasamos de una vez a la etapa de pelado y troceado eliminando la semilla y la corola, se troceó en rodajas de aproximadamente 0.3 cm de espesor y posterior se dejó sobre bandejas de acero para su secado como se muestra en la Ilustración 19.



*Ilustración 19 Pelado y troceado para la harina por deshidratación. Fuente: Elaboración propia*

### **Secado**

Se colocaron en un horno, los pebibayes como se muestra en la Ilustración 20, a 50 °C por un lapso de 28 horas hasta alcanzar una humedad de 3 a 10%.



*Ilustración 20 Secado al horno de la materia prima. Fuente: Elaboración propia*

## **Molienda**

La molienda se realizó en un molino de discos donde se trituro tanto el pejibaye que fue cocido, como al deshidratado como se muestra en la Ilustración 21 y 22.



*Ilustración 21 Triturado De Pejibaye. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 22 Harina de pejibaye por deshidratación obtenida. Fuente: Elaboración propia*

## **Tamizado**

Se utilizó un tamizador con mallas N° 8, 12, 35, 50, 80, 150, 230 para obtener un tamaño de partícula menor de 0.9 mm como se muestra en la Ilustración 23.



*Ilustración 23 Harina por deshidratación luego del tamizado. Fuente: Elaboración propia*

## **Análisis proximal**

### **Determinación de humedad**

Se analizó el porcentaje de humedad por medio del método termogravimétrico, utilizando el analizador de humedad marca Sartorius modelo MA150, en donde se tomó una muestra de harina en una bandeja de muestra y se ingresó en el analizador de humedad, como muestra en la Ilustración 24. El proceso se realizó hasta que el analizador se detuviera.



*Ilustración 24. Determinación de porcentaje de humedad. Fuente: Elaboración propia*

El porcentaje de humedad con la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(M-m)}{M} \times 100 \qquad \text{Ecuación 1}$$

En la que:

M: Peso Inicial en gramo de la muestra.

m: Peso en gramo del producto seco.

### **Determinación de cenizas**

El contenido de ceniza presente en la harina se procedió mediante el método de la AOAC 942.05 expuesto en la AOAC 2000, en el cual se indica que se debe de incinerar la muestra en la mufla a 550°C para eliminar toda la materia orgánica hasta llegar a peso constante. Se realizará de la siguiente manera:

Se taró el crisol vacío, se tomó una muestra de harina y se pesó con el crisol, luego se ingresó en un horno a 550°C hasta que se llegue a un peso constante. El crisol se enfrió en un desecador para su posterior pesaje.

Al finalizar la incineración de la muestra, se dejó enfriar el crisol en un desecador, posterior al enfriamiento, se pesó la muestra en el crisol por triplicado como se muestra en la Ilustración 25.



*Ilustración 25 Pesado de harina por cocción y deshidratado. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 26. Colocación de las muestras en una mufla marca thermoscientific. Fuente: Elaboración Propia*



*Ilustración 27 Pesaje de cenizas. A) Pesaje de ceniza por cocción. B) Pesaje de ceniza por deshidratación. Fuente: Elaboración propia*

El cálculo de porcentaje de cenizas se realizará mediante la fórmula:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{(P_1 - P_2)}{P} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

En la que:

$P_1$ : Peso en g del crisol con las cenizas.

$P_2$ : Peso en g del crisol vacía.

$P$ : Peso en g del crisol con la muestra.

### **Determinación de Proteínas**

Se determinó las proteínas con el método volumétrico ácido-base de Kjendahl según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE-INEN, 2015), en dónde se realizó en varias etapas. Siendo las etapas generales del método lo siguiente:

#### **Etapas de digestión**

En este proceso de digestión se introdujo en un tubo de mineralización 1 g de muestra de harina de pejibaye, 3 g de catalizador Kjeldahl y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado y 5 ml de agua destilada posteriormente como se muestra en la Ilustración 28, al mezclado se colocó el tubo en el digester marca Raypa funcionando a una condición de temperatura de 420°C por un tiempo determinado de 30 minutos.



*Ilustración 28 Digestor Kjeldahl. Marca Raypal. Fuente: Raypa (2019)*

### **Etapa de destilación**

Se alcalinizó la muestra digerida y el nitrógeno que se desprendió en forma amoniaco. Después de enfriar se adicionan al tubo de digestión 50 ml de agua destilada, se pasó en el soporte del destilador y se adicionaron 50 ml de hidróxido sódico 10 N para alcalinizar el medio y desplazar el amoniaco de las sales amónicas. El amoniaco liberado es arrastrado por el vapor de agua inyectado en el contenido del tubo durante la destilación, y se recogió sobre una disolución de ácido bórico al 4%

### **Etapa de valoración**

La cuantificación del nitrógeno amoniacal se realizó por medio de una volumetría ácido base del ion borato, empleando ácido sulfúrico y como indicador una disolución alcohólica de una mezcla de rojo metilo y azul de metileno. Anotando la cantidad de ácido consumido, para el posterior cálculo de porcentaje de Nitrógeno presente en la muestra de harina.

El cálculo de porcentaje de proteínas se realizó mediante las fórmulas:

$$\%Nitrógeno: \frac{1.4 \times (V_1 - V_0) \times N}{P} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\%Proteína: \% Nitrógeno \times F \quad \text{Ecuación 4}$$

En donde:

P: Peso en g de la muestra.

V1: Volumen en ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de consumido en la valoración.

N: Normalidad del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

V<sub>0</sub>: Volumen en ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> consumido en la valoración de un blanco.

F: factor de conversión para pasar de contenido en nitrógeno a contenido en proteínas. La mayoría de las proteínas contienen un 16% de N<sub>2</sub>, de modo que el factor de conversión es de (100/16 = 6,25).

### **Determinación de grasa**

El contenido de grasas presente en la harina se procederá mediante el método de la AOAC 960.39, en donde expresa el siguiente proceso:

## Destilación

En este proceso se tomó una muestra de harina y se vertió en un dedal de extracción de algodón de celulosa el cuál fue tapado con un pedazo de algodón (para que no exista una mayor pérdida de gases, como muestra en la Ilustración 29).

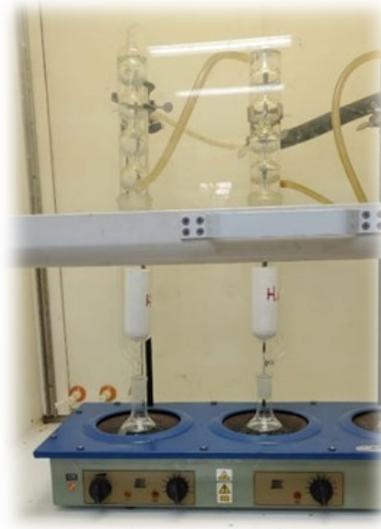


*Ilustración 29 Pesado del dedal de algodón de celulosa. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 30 Incorporación de la harina por cocción y deshidratación al dedal de algodón de celulosa. Fuente: Elaboración propia*

Inmediatamente luego de haber tapado el dedal de extracción con la muestra, se ingresó en un extractor Soxhlet con hexano; el proceso duró aproximadamente 6 horas.



*Ilustración 29 Montaje de equipo para la determinación de grasa en la harina de pejibaye mediante la extracción sólido-líquido. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 302 Muestra obtenida luego de 6 horas de filtración de agua. Fuente: Elaboración propia*

### **Extracción de disolvente orgánico**

Para eliminar el remanente de disolución orgánico aún presente en la muestra de aceite, se empleó un rotavapor R-124 marca Büchi como se muestra en la Ilustración 33.



*Ilustración 33 Recuperación de hexano, en un rotavapor. Fuente: Elaboración Propia.*

Luego de la recuperación de la mezcla de hexano y harina de pejibaye, se procedió a extraer el extracto etéreo; se colocó la muestra cuidadosamente en el rotavapor ajustándose a la perilla y se prensó con la pinza metálica, como muestra en la figura.

Se encendió el baño maría y se ajustó a una condición de temperatura de 40°C, luego se ajustó la manija con el balón hasta que esté sumergido parcialmente en el baño maría; al ajustar la altura se encendió el rotavapor haciendo que el balón con la muestra rote a una velocidad moderada para que el líquido no ingrese en el interior del tubo del rotavapor.

Inmediatamente se encendió la bomba de vacío y lentamente se empezó a variar la presión poco a poco, regulando que no se formen burbujas en la muestra y se pierda el extracto etéreo. El proceso de destilación duró aproximadamente 8 minutos, hasta que no se observara más condensación de vapor en el colector y el volumen de contenido de la muestra no disminuyera.

Al observar que ya no había más condensación de vapor, se apagó la bomba de vacío y se levantó el balón hasta una altura en la cual se logró desmontar cuidadosamente para su posterior pesaje en la balanza digital marca Radwag modelo PS 6000/C/2.

Una vez confirmamos que no había hexano, procedimos a retirar los balones con el aceite obtenido de cada una de las muestras.



*Ilustración 31 Grasa obtenida de las muestras de harina con hexano. Fuente: Elaboración propia*

El cálculo de porcentaje de grasas se realizará mediante la fórmula:

$$\text{Grasas (\%)} = \frac{(P_1 - P_2)}{P} * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

En la que:

$P_1$ : Peso en g del Erlenmeyer con el extracto etéreo.

$P_2$ : Peso en g del Erlenmeyer vacío.

$P$ : Peso en g de la muestra empleada.

### **Determinación de carbohidratos**

La determinación de los Carbohidratos será la diferencia de todos los porcentajes de componentes anteriormente realizados, mediante la siguiente fórmula:

$$C(\%) = 100 - (\text{Proteína} + \text{Grasa} + \text{Ceniza} + \text{Humedad} + \text{Fibra}) \quad \text{Ecuación 6}$$

### **Determinación de fibra**

Se usó el método de la AOAC. 962.09, el cual consiste en la determinación del remanente luego de la eliminación de los carbohidratos solubles por hidrólisis a compuestos más simples (azúcares) mediante la acción de los ácidos y álcalis débiles en caliente.

Se pesaron 0.5-1 g de muestra y fueron transferidos a un Erlenmeyer de 250. Se agregaron en el siguiente orden, 100 ml de solución detergente neutro, 0.2 ml de amilasa, 10 gotas de antiespumante y 0,5 g de sulfito de sodio. Conectamos el condensador y calentamos de manera tal que entre en ebullición en 5-10 minutos. Cuando la solución entro en ebullición, redujimos el calentamiento para evitar la formación de espuma. Hervimos exactamente 60 min, agitando periódicamente para suspender los sólidos adheridos a las paredes.



*Ilustración 32 Pesado de muestras de las harinas. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 33 Muestras de harinas en el desecador. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 34 Traspaso de las harinas en envases microbiológicos. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 35 Muestras de harina por cocción y deshidratación. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 36 Agitado de las muestras. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 37 Filtrado de hexano hasta separar la fibra, el aceite y hexano. Fuente: Elaboración propia*

Se filtraron inmediatamente sobre un crisol previamente tarado, aplicando vacío en forma suave. Lavamos el Erlenmeyer con un mínimo de agua caliente (80-90 °C), y decantamos en el crisol. Repetimos el lavado con agua caliente dos veces más. Luego lavamos dos veces con acetona (aproximadamente 5 ml por vez) y succionamos hasta la sequedad. Secamos el crisol en estufa a 100°C durante 8 horas como se muestra en la Ilustración



*Ilustración 38* Proceso de evaporación del reactivo en una estufa a 100°C. Fuente: Elaboración propia



*Ilustración 39* Reducción del volumen de la solución. Fuente: Elaboración propia

Calcinamos durante 3 horas a 500-550 °C, enfriamos en desecador y procedimos a pesar. La diferencia de peso obtenida se refiere al porcentaje de muestra y se obtiene la fibra insoluble en detergente neutro.

Los datos obtenidos se calcularán con la siguiente fórmula:

$$\%F = \frac{(P_1 - P_2)}{P} \times 100 \quad \text{Ecuación 7}$$

Siendo:

P= Peso inicial de la muestra.

P<sub>1</sub>= Peso del crisol contenido de la muestra desecada

P<sub>2</sub>=Peso del crisol contenido de la muestra calcinada.

### **Identificación del IR (espectro infrarrojo)**

Se determinó la absorción de radiación infrarroja mediante la técnica instrumental de espectroscopia infrarroja utilizando un espectrofotómetro de infrarrojo.

Para ello primero se pesaron 5 g de harina de pejibaye y se colocarán en el mortero de ágata y se mezclaron, luego se le adicionó KBr a la muestra y se mezclaron con un pistilo, hasta obtener unamezcla homogénea. Se transfirió la muestra al dado hasta procurar una mezcla uniforme. Posteriormente la mezcla se presionó en un troquel especial a una presión entre 18 a 20,000 lb/plg<sup>2</sup>, hasta obtener un disco transparente. Por último, se colocó el disco en la trayectoria del haz del instrumento infrarrojo.



*Ilustración 40 Determinación de absorción infrarroja en la harina de pejibaye mediante el espectrofotómetro infrarrojo. Marca Bruker. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 41 Operación de homogenización de muestra de harina de pejibaye y bromuro de potasio. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 42 Pastilla fina obtenida luego de la fuerte presión ejercida al troque especial. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 43 Espectrofotómetro infrarrojo para su posterior análisis de las muestras. Fuente: Elaboración propia*

### **Determinación de granulometría**

Se pesaron 100 g de muestra de harina, seguidamente se depositaron en el juego de tamices como se muestran en la Ilustración 47, donde se colocaron los juegos de tamices con la muestra en el vibrador horizontal eléctrico y se dejó por 10 minutos. Pasado los 10 minutos se pasó a retirar la harina de los juegos de tamices con una brocha y se pesaron cada muestra de los diferentes tamices. Finalmente se anotaron los pesos obtenidos de acuerdo al número de tamiz, para luego determinar el grado de finura de la muestra.



*Ilustración 44. Tamizador usado para la obtención de la harina fina.*

### **Determinación del pH**

Para determinar el pH se utilizó un potenciómetro con electrodo de vidrio para lo cual se pesarán 5 g de muestra, luego se añadieron 50 mL de agua destilada como se muestra en la Ilustración 48, para posteriormente homogenizar la muestra a 6000 rpm por 30 segundos, y finalmente medir el pH. Cabe recalcar que es necesario calibrar el equipo, antes de empezar a utilizarlo.



*Ilustración 458 Lectura del pH con potenciómetro. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 46 Resultado de la lectura del pH. Fuente: Elaboración propia*

## Prueba de utilidad con harina de pejibaye

Se decidió hacer un snack vegano para ello se necesitaron:

- 220 gr de papa
- 30 gr de harina de pejibaye
- 20 gr de maicena
- Sal, pimienta, orégano al gusto

### Procedimiento

1. Pelar las papas y luego se lavan.
2. Cocieron las papas por 25 minutos. Escurrir y dejar enfriar.
3. Aplastar las papas hasta obtener un puré y se le agregan los condimentos.
4. Agregar los 30g de harina de pejibaye y 20g de maicena.
5. Mezclar hasta que tenga la consistencia adecuada.
6. Con la masa hacer palitos hasta acabar la masa.
7. Poner a freír.



*Ilustración 47 Pelado de papas. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 48 Cocción de las papas. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 49 Especies adicionadas a la mezcla. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 50 Mezclado de los ingredientes. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 51 Moldeado de la masa en forma de bolillos. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 52 Resultado del moldeado de la masa. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 53 Bolillos de snack fritos en freidora de aire. Fuente: Elaboración propia*

## V. Resultados

En esta sección se presentan los resultados y análisis de los datos de cada uno de los objetivos en esta investigación. Las operaciones unitarias involucradas en el proceso de obtención de harina de pejibaye se presentan en los siguientes flujogramas de proceso.

### 5.1 Rendimiento de la harina de pejibaye

#### Harina de pejibaye por cocción

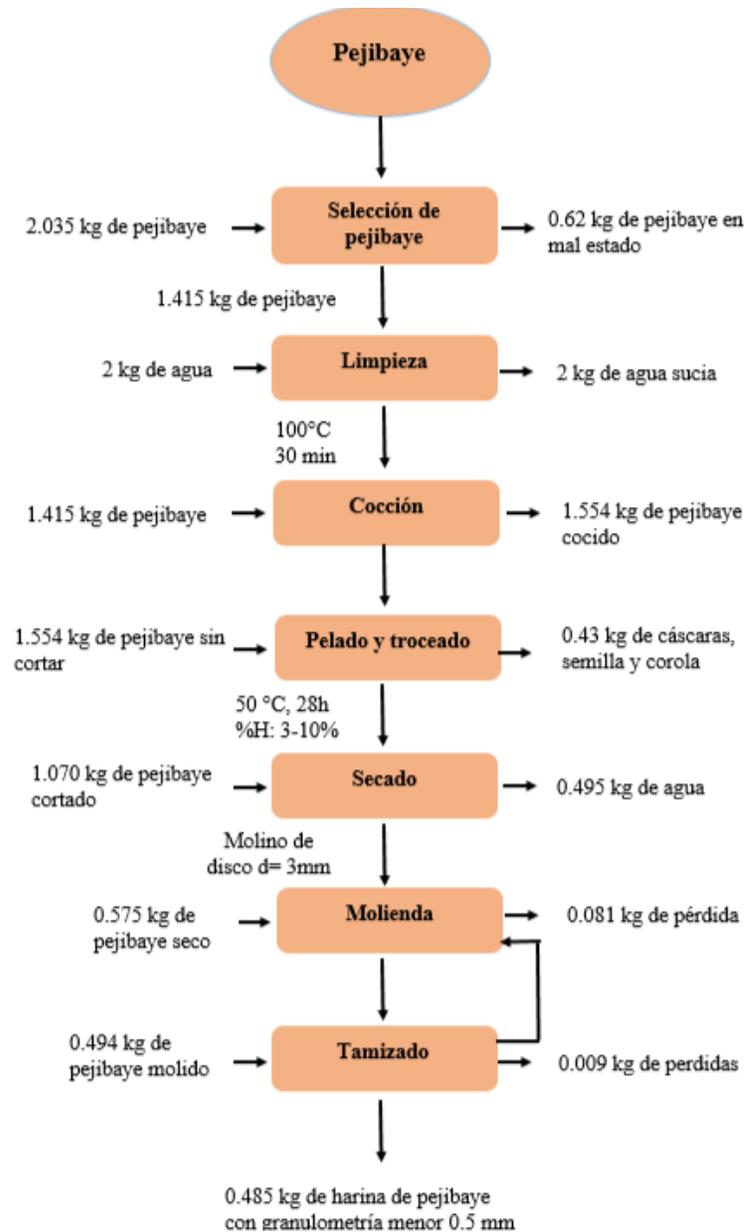
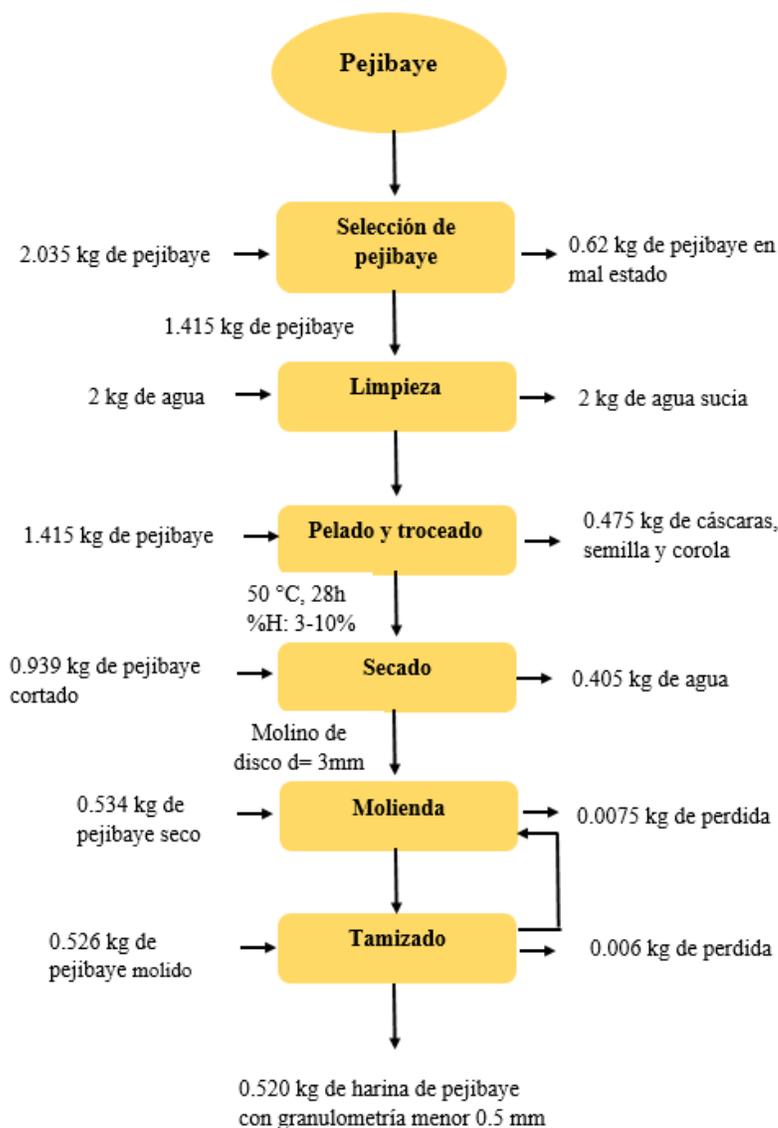


Ilustración 54 Balance de materia para harina de pejibaye por cocción. Fuente: Elaboración propia

El rendimiento obtenido fue 34.27% para la harina de pejibaye por cocción a escala de laboratorio equivalente a 0.485 kg harina fina de pejibaye.

$$\%Rendimiento = \frac{0.485 \text{ kg}}{1.415 \text{ kg}} \times 100\% = 34.27\%$$

### Harina de pejibaye por deshidratación



*Ilustración 55 Balance de materia para harina de pejibaye por deshidratación. Fuente: Elaboración propia*

El rendimiento obtenido fue 36.75% para la harina de pejibaye por deshidratación a escala de laboratorio equivalente a 0.520 kg de harina fina de pejibaye.

$$\%Rendimiento = \frac{0.520 \text{ kg}}{1.415 \text{ kg}} \times 100\% = 36.75\%$$

La harina de pejibaye por cocción presenta un rendimiento relativamente menor a la harina por deshidratación por lo que puede varias por varias razones como pérdida de agua durante la cocción, reducción de volumen, mayor evaporación durante la cocción, además la etapa de cocción favorece la tasa de eliminación de humedad en la etapa de deshidratado. Por lo que podemos decir que la diferencia en el rendimiento entre la harina de pejibaye cocido y deshidratado puede atribuirse principalmente a la pérdida de agua durante la cocción, lo cual afecta el peso final del producto.

En el caso de la harina deshidratada presenta mayor rendimiento, esto debido a la eliminación del contenido de agua, y este contenido de agua disminuye durante la cocción; por otro lado, al deshidratar el pejibaye para hacer la harina, se elimina una cantidad significativa de agua, lo cual concentra los nutrientes y el sabor, resultando en un producto más ligero, pero con mayor concentración de nutrientes y energía.

En cuanto al estudio con el de Cháves y Hernández (2017) que obtuvieron un rendimiento de 46.30%, siendo éste un mayor rendimiento en comparación a nuestro estudio. Esto debido a que se hubo mayor pérdida de agua en nuestro estudio.

## 5.2 Caracterización de la harina de pejibaye

### Determinación de propiedades fisicoquímicas de la harina de pejibaye

Los valores obtenidos de las propiedades proximales de la harina de pejibaye se muestran en la Tabla 6.

*Tabla 6 Resultados de la determinación de las propiedades proximales de harina de pejibaye*

<b>Parámetro</b>	<b>Harina de pejibaye por cocción (%)</b>	<b>Harina de pejibaye por deshidratación (%)</b>
Humedad	7.37	6.85
Cenizas	2.28	1.85
Grasa	15	14.3
Proteína	4.63	5.25
Fibra	21.13	18.25
Carbohidratos	49.49	53.5

Fuente: Elaboración propia

Para el porcentaje de humedad se observaron que los dos tipos de harina presentan similares porcentajes de humedad para la harina por cocción 7.37% y la harina por deshidratación 6.85%, el tratamiento de cocción aumento las propiedades de absorción de agua. Con respecto al estudio de Cháves y Hernández (2017) el porcentaje de humedad de harina de pejibaye fue de 11.39%. Se puede observar que hubo un menor contenido de humedad para las muestras de este estudio, sin embargo, se encuentra en el rango permisible según el NTON 03 096 – 11 para harina de maíz que indica que el rango máximo de porcentaje de humedad permisible es de 15%.

En cuanto a las cenizas, la harina por cocción obtuvo 2.28% mayor porcentaje de cenizas que la harina por deshidratación que obtuvo 1.85% esto significa que la harina por cocción presenta mayor cantidad de minerales, esto se debe al proceso de cocción en este proceso se favorece la hidratación del producto. De acuerdo al estudio de Cháves y Hernández (2017) obtuvieron 2.07%. Ambas harinas se encuentran en el rango permisible, según el Codex Stan 176-1989 el rango permisible de cenizas es de 3%.

Con respecto al porcentaje de grasa el proceso de secado disminuye el contenido de humedad lo que favorece el aumento de concentración de la grasa, la harina por cocción presenta 15% mayor porcentaje de grasa debido al proceso de cocción provoca una retención de los

carotenoides, el cual es el responsable de otorgar el pigmento anaranjado al pejibaye y en el caso de la harina deshidratada con 14.3% se debe a los procesos de isomerización y oxidación de los carotenoides durante el proceso de deshidratación. En comparación al estudio de Cháves y Hernández (2017) registraron 13.25%. Los resultados muestran que nuestro estudio presenta mayor porcentaje de grasa.

En el caso de las proteínas la harina por cocción presenta menor porcentaje de proteínas 4.63% que la harina por deshidratado 5.24%, el secado provoca un aumento en la concentración de las proteínas y el proceso por cocción favorece la desnaturalización de las proteínas. En comparación al estudio de Cháves y Hernández (2017) se registró 6.13% presentando mayor cantidad de proteínas que en este estudio.

El contenido de carbohidratos se estimó por diferencia a partir de los valores obtenidos del resto de componentes químicos, de manera que su comportamiento será resultado de la variación de dichos componentes. La harina por cocción presentó 49.59% mientras la harina por deshidratado 53.5% siendo esta mayor. A diferencia del estudio de Cháves y Hernández (2017) la cantidad de carbohidratos fue de 58.52%. Este comportamiento es consecuencia a que nuestro estudio presenta menor cantidad de proteínas y mayor cantidad de fibra.

La fibra presenta en la harina por cocción fue de 21.13% mayor que la harina deshidratada con 18.25%, la cocción aumento en el contenido de fibra y solubilización de las fibras. En caso contrario con el estudio de Cháves y Hernández (2017) con 6.29% debido a que el presente estudio presenta menor porcentaje de humedad.

### **5.3 Espectro infrarrojo de la harina de pejibaye**

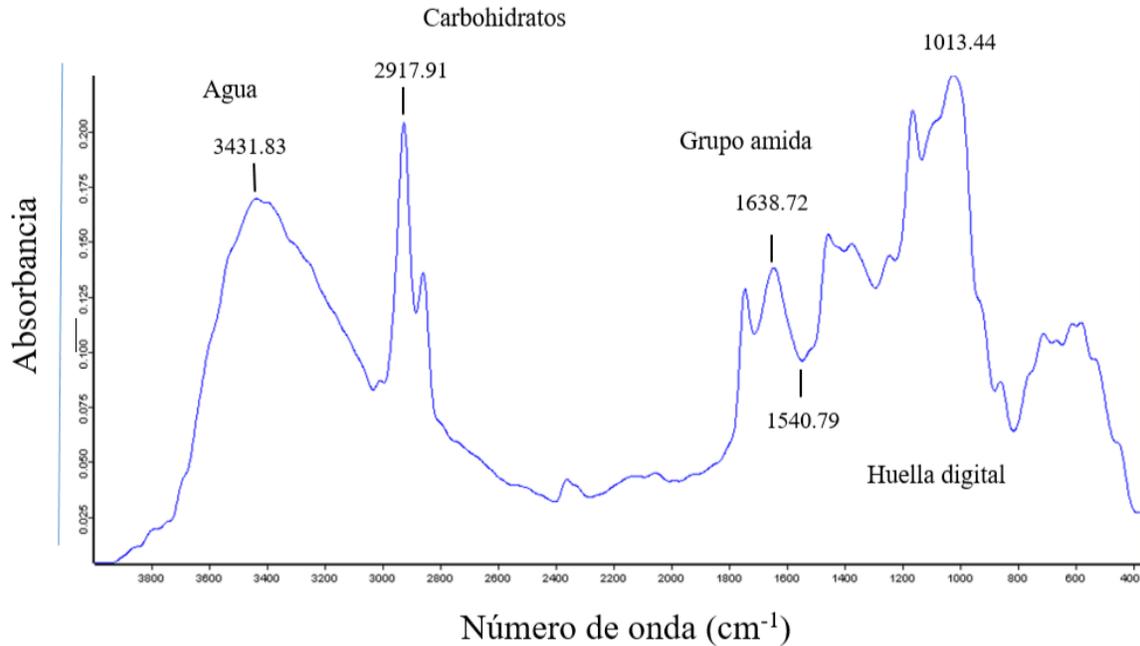
El análisis de las muestras de estas harinas permitió identificar los grupos funcionales presentes en la harina además de identificar enlaces característicos de las harinas, como por ejemplo enlaces de C-H de los compuestos orgánicos, enlaces C=O de los ácidos orgánicos y enlaces N-H de las proteínas presentes en la harina. El espectro infrarrojo además permite evaluar la estabilidad y calidad de la harina.

En los espectros de infrarrojo correspondientes a la harina de pejibaye escaldado y deshidratada, se muestran vibraciones moleculares en la región de los 4000 a los 400  $\text{cm}^{-1}$ , estas son las vibraciones moleculares encontradas:

#### **Harina de pejibaye por cocción**

Para la harina de pejibaye por cocción en la Ilustración 59, se observa un pico a un número de onda de 3431.83  $\text{cm}^{-1}$  se atribuye a la vibración de estiramiento del enlace O-H característico de los puentes de hidrógeno del agua, lo cual indica una importante contribución de las moléculas de agua; en los 2917.91  $\text{cm}^{-1}$  se atribuye al estiramiento asimétricos en los enlaces CH de las cadenas hidrocarbonadas de lípidos y carbohidratos y radicales proteicos; en la longitud de onda 1638.72  $\text{cm}^{-1}$  el estiramiento es debido a las vibraciones del grupo CO e identifica el compuesto amida I; el pico intenso en la longitud de onda de 1013.44  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a una vibración de estiramiento del enlace C-O, consecuencia de la gran cantidad de almidón, amilosa y amilopectina que contienen las harinas.

En la región del número de onda 1540.79 a 400  $\text{cm}^{-1}$  es conocida como huella dactilar, están presentes una gran cantidad de señales que estarían asociadas a los compuestos presentes en las muestras. Existen una gran cantidad de compuestos en pequeñas concentraciones en distintas clases químicas.

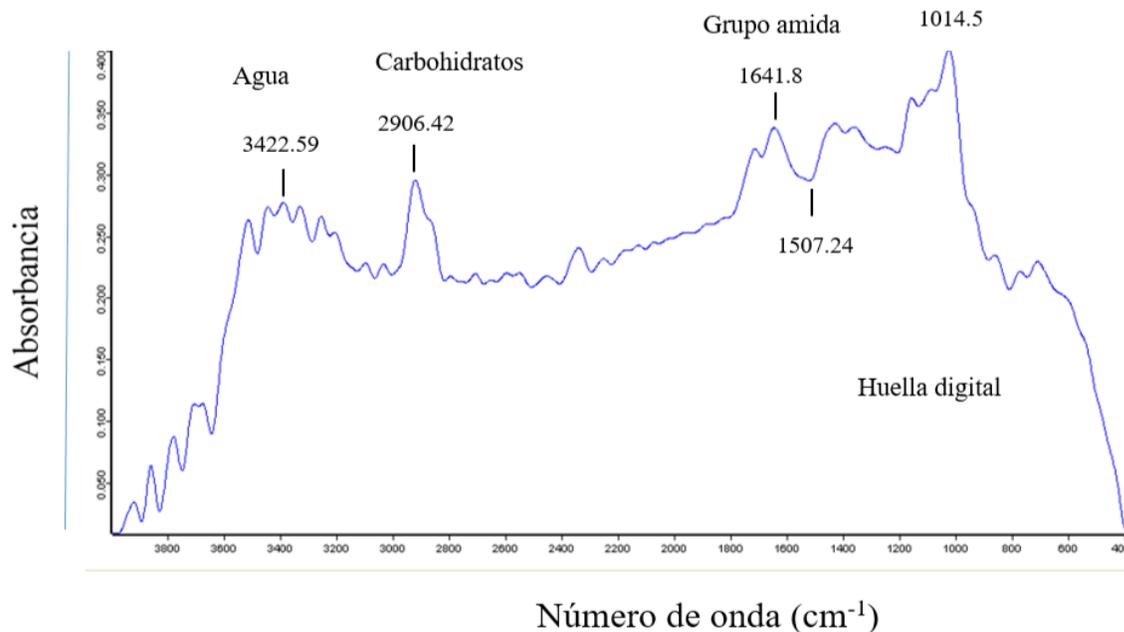


*Ilustración 56 Espectro infrarrojo absorbancia de las vibraciones moleculares en la harina de peji-baye por cocción. Fuente: Elaboración propia.*

### **Harina de peji-baye por deshidratación**

Para la harina de peji-baye por deshidratación se atribuye al longitud de onda 3422.59 se atribuye al enlace O-H del agua; en la longitud de onda 2906 cm<sup>-1</sup> como se observa en la Ilustración 60, podemos apreciar los estiramientos asimétricos en los enlaces CH de las cadenas hidrocarbonadas de lípidos y carbohidratos y radicales proteicos; en la longitud de onda 1641 cm<sup>-1</sup> el estiramiento es debido a las vibraciones del grupo CO e identifica el compuesto amida I; a los 1014.5 cm<sup>-1</sup> corresponde a una vibración de estiramiento del enlace C-O, consecuencia de la gran cantidad de almidón, amilosa y amilopectina que contienen las harinas

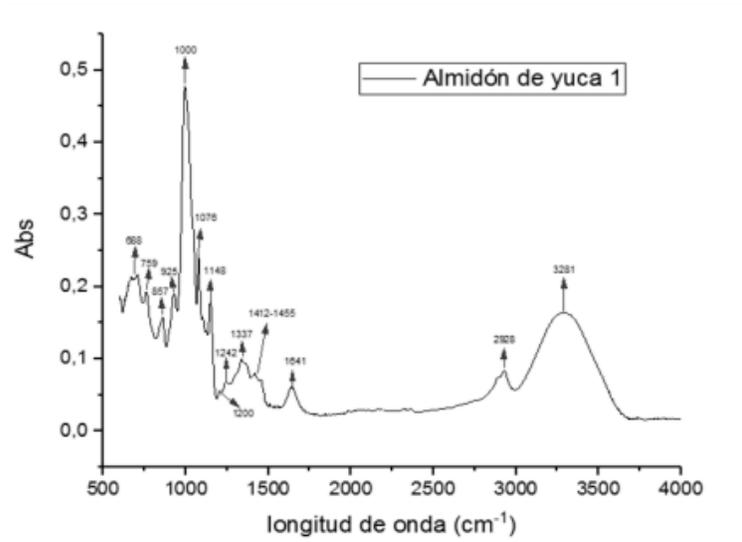
En la región del número de onda 1507.24 a 400 cm<sup>-1</sup> es conocida como huella dactilar, están presentes una gran cantidad de señales que estarían asociadas a los compuestos presentes en las muestras. Existen una gran cantidad de compuestos en pequeñas concentraciones en distintas clases químicas.



*Ilustración 57 Espectro infrarrojo absorbancia de las vibraciones moleculares en la harina de pejibaye por deshidratación. Fuente: Elaboración propia.*

Al comparar ambos espectros se observa en la región comprendida entre los 3800 y 1800 se puede observar la diferencia clara entre los dos tipos de harina la primera harina tiene una banda ancha y elevada mientras que la segunda presenta una banda corta y poca ancha. En la región comprendida entre 2800-1800 la harina por cocción posee bandas débiles, en caso contrario a la harina por secado que posee bandas fuertes por lo que éstas tienen su origen en enlaces triples, por ejemplo,  $C\equiv C$ ,  $C\equiv O$  o  $C\equiv N$ . Las variaciones para la harina deshidratada podrían deberse al proceso de deshidratado.

La harina deshidratada presenta inestabilidad en los grupos funcionales del agua y grasa debido a que posee menor cantidad de éstos que se redujeron en el proceso de deshidratado.



*Ilustración 58 Espectro FTIR de la muestra de almidón de yuca. Fuente: (Orsini et al, 2020)*

En el estudio de Almidón de Yuca como se observa en la Ilustración 61 se puede comparar el análisis cromatográfico realizado en este trabajo con el trabajo realizado por (Orsini et al, 2021), el cual un análisis cromatográfico de FTIR a los residuos de una procesadora de harina de yuca, representado en la ilustración 61. Por lo tanto, existe una similitud en la existencia en los picos característicos de una harina, sin embargo, se puede presenciar la particularidad en las vibraciones, siendo este una singularidad en diferenciar el tipo de materia prima.

## 5.4 Determinación de granulometría

### Harina de pejibaye por cocción

Tabla 7 Granulometría por tamizado de harina de pejibaye por escaldado

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA						
ENSAYO DE LABORATORIO GRANULOMETRIA POR TAMIZADO						
N° de Tamiz	Abertura del tamiz		Peso Húmedo (g)		Peso seco (g)	
	(Pulg)	(mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje pasante (g)
8	0.0937	2.36	0	0	0	100
12	0.0561	1.7	6	6	6	94
35	0.0197	0.5	48	48	54	46
50	0.0117	0.33	19	19	73	27
80	0.007	0.3	23	23	96	4
140	0.0041	0.18	1.5	1.5	97.5	2.5
230	0.0025	0.106	2.5	2.5	100	0
Total			100	100		0

Fuente: Elaboración propia

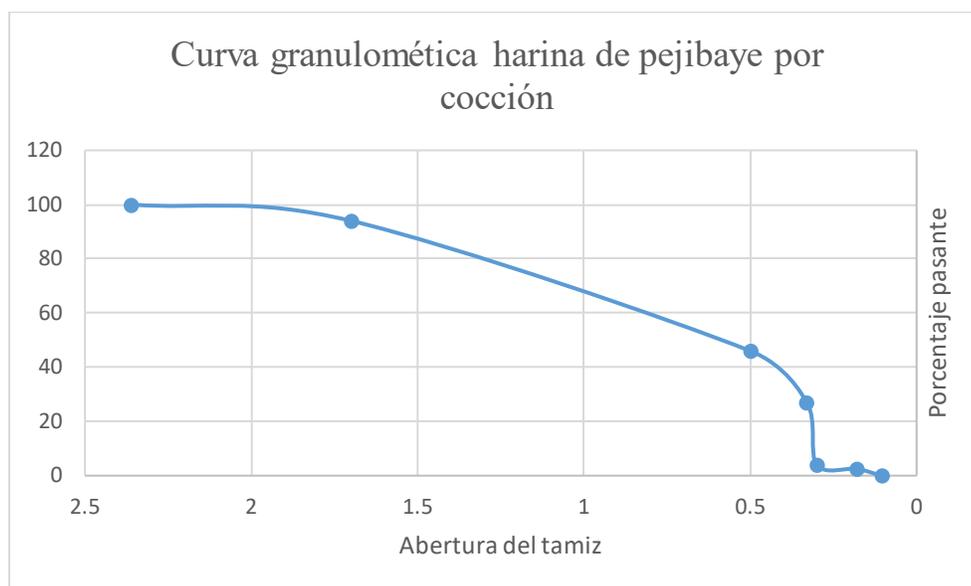


Ilustración 59 Curva granulométrica de harina de pejibaye por cocción. Fuente: Elaboración propia

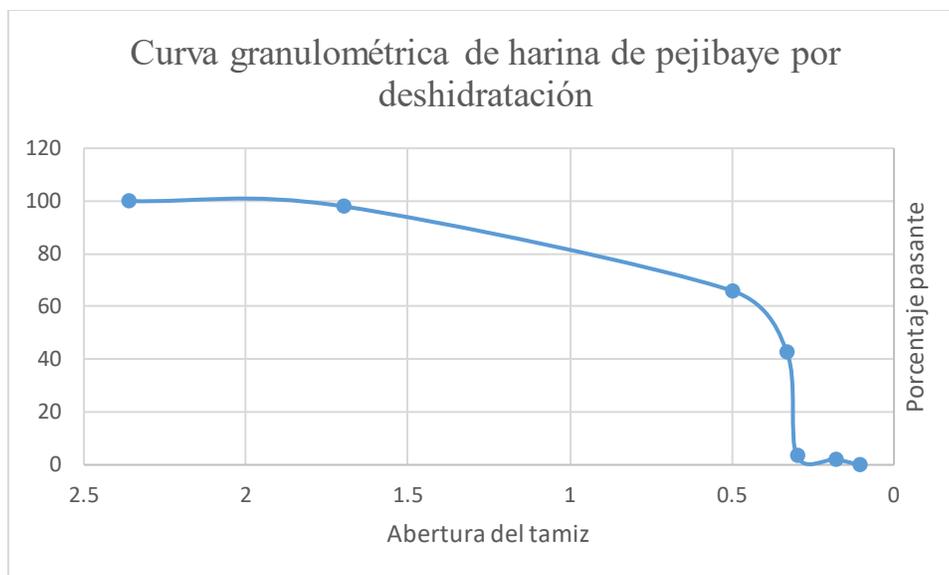
En la tabla 7 se puede observar que es los tamices #35 #50 y #80 hubo mayor retención de harina y donde más se retuvo fue en el #35 con 48g. En el tamiz #8, #12, #140 y# 230 hubo poca retención de harina ya que la abertura del tamiz era mayor al diámetro de las partículas.

En la ilustración 62 se observa el comportamiento de la harina de pejibaye por cocción por las distintas series tamices.

### Harina de pejibaye por deshidratación

Tabla 8 Granulometría por tamizado de harina de pejibaye por deshidratación

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA						
ENSAYO DE LABORATORIO GRANULOMETRIA POR TAMIZADO						
N° de Tamiz	Abertura del tamiz		Peso Húmedo (g)		Peso seco (g)	
	(Pulg)	(mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje pasante (g)
8	0.0937	2.36	0	0	0	100
12	0.0561	1.7	2	2	2	98
35	0.0197	0.5	32	32	34	66
50	0.0117	0.33	23.5	23.5	57.5	42.5
80	0.007	0.3	39	39	96.5	3.5
140	0.0041	0.18	1.5	1.5	98	2
230	0.0025	0.106	2	2	100	0
Total			100	100		0



*Ilustración 60 Curva granulométrica de harina de pejibaye por deshidratación. Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 8 se puede observar que es los tamices #35 #50 y #80 hubo mayor retención de harina, sucediendo lo mismo que en la harina por escaldado habiendo mayor retención en el tamiz #80 con 39g. En el tamiz #8, #12, #140 y# 230 hubo poca retención de harina ya que la abertura del tamiz era mayor al diámetro de las partículas.

En la ilustración 63 se observa el comportamiento de la harina de pejibaye por deshidratación por las distintas series tamices.

En ambas harinas los diámetros de las dos harinas fueran los mismos, en la harina de chontaduro tiende a formarse aglomerados o grumos, seguramente por tener un mayor índice de absorción de humedad o vapor de agua del medio, aspecto que se supera con un adecuado manejo y conservación del producto.

Según Rosentrater y Evers (2018), para cumplir con los requisitos en la elaboración de pastas alimenticias, las harinas deben presentar una granulometría de tamaños entre 150  $\mu\text{m}$  y 450  $\mu\text{m}$ , es decir, entre los tamices #50 y #80 respectivamente.

## 5.5 Determinación del pH

Tabla 9 Resultado de la determinación de pH de harina de pejibaye por dos tratamientos térmicos

	Harina de pejibaye por cocción	Harina de pejibaye por deshidratación
<b>pH</b>	4.51	4.62

Ambas harinas presentan un pH ácido, lo cual indica que presentan gran capacidad de gelatinización, muestra la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de las secciones amorfas y cristalinas. La gelatinización de los almidones contenidos en las harinas de origen vegetal, influye en las propiedades funcionales de estas y es responsable del aumento de la solubilidad, absorción de agua y el poder de hinchamiento (Rodríguez-Sandoval et al., 2012)

La harina de pejibaye por cocción presenta menor pH en comparación a la harina deshidratada. Es decir que la etapa de escaldado redujo la alcalinidad de la harina de pejibaye. De acuerdo al estudio de Sarria et al., 2019 obtuvieron un pH de 4.43 menor que el de este estudio.

## VI. Conclusiones

Se determinaron las operaciones unitarias del proceso de obtención de harina de pejibaye principalmente cocción, deshidratación, molienda y tamizado.

Se evaluaron dos métodos de obtención de harina de pejibaye; cocción y deshidratación.

Se determinaron las propiedades funcionales y rendimiento de las harinas obtenidas en cada tratamiento, obteniendo para la harina por cocción 7.37% de humedad, 2.28% cenizas, 15% grasa, 4.63% proteína, 49.49% carbohidratos, 21.13% fibra. Para la harina por deshidratación se obtuvo 6.85% de humedad, 1.85% cenizas, 14.3% grasa, 5.25% proteína, 53.5 carbohidratos, 18.25% fibra. Siendo propiedades permisibles para ambas harinas.

En cuanto al rendimiento la harina por deshidratación obtuvo un rendimiento del 36.75%, equivalente a 0.520 kg de harina fina de pejibaye para la harina por cocción fue de 34.27% equivalente a 0.485 kg harina fina de pejibaye.

Al evaluar los dos métodos de obtención se determinó que la harina por cocción presenta mejores propiedades fisicoquímicas, estabilidad para la elaboración de productos alimenticios.

Se elaboró un snack vegano donde se comprobó su utilidad en productos veganos partir de las dos harinas.

## VII. Recomendaciones

- Elaborar harina de pejibaye con mayor contenido de humedad, similar al de productos comerciales (8%), para ayudar a mejorar la textura, elasticidad y manejabilidad de la masa de forma que al hacer pruebas de molienda se pueda evaluar la posibilidad de aumentar el rendimiento obtenido en la operación de secado. Así como obtener un equilibrio adecuado para obtener resultados satisfactorios en la panificación.
- Se recomienda trabajar la obtención de pejibaye a diferentes temperaturas en las etapas de cocción y secado, debido a que el proceso puede influir en la textura, sabor y calidad del producto final; lo que a su vez puede influencias en el color y sabor de la harina
- Utilizar la harina de pejibaye para la elaboración de productos de panadería, repostería y galletería.
- Realizar estudios enfocados en la creación de subproductos a partir de la cascara de pejibaye y semillas con el fin de utilizar todos los desechos y no desperdiciar nada en el proceso de obtención de harina de pejibaye.
- Realizar estudios de escalamiento industrial para la elaboración de harina de pejibaye en Nicaragua.

## VIII. Bibliografía

1. *Agico*. (16 de Marzo de 2023). Obtenido de <http://www.biodiesel-machine.com/sp/flour-mill-6fy.html>
2. Alvarado, C. (2013). Escalamiento a nivel industrial del proceso de elaboración de un puré de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth) con alto contenido de compuestos bioactivos en la empresa Productos Ujarrás S.A. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
3. AOAC. 2000. Official methods Of Analysis of AOAC International (17th ed) Gaithersburg, M.D. Association of Official Analytical Chemists
4. Arayada, Y., Flores, W y Ivankovich, C. (2010). Percepción sobre el pejibaye y la aceptación de un snack funcional a base de pejibaye (*bactris gasipaes kunth*) por consumidoras costarricenses. *Ciencias Económicas*, 28(2), 139-149.
5. Armijo, O. (2014). Valorización de los subproductos de la industrialización de palmito de pejibaye (*Bactris gasipaes*) para la elaboración de un producto en polvo con alto contenido de fibra dietética. [Tesis de licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
6. Arguelles, G. V. (2020). *Clasificación y caracterización de veinte razas de palma de chontaduro (Bactris gasipaes H.B.K) de acuerdo con las propiedades fisico-químicas y bromatológicas del fruto*. San José del Guaviere: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas .
7. Arguello, H., Bolaños, C., Corredor, G., Chaparro, O., Galvis, J y Herrera, A. (1999). Cultivos y tecnologías para la reconversión económica en la Amazonia Colombiana: Manejo de postcosecha e industrialización del chontaduro. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
8. Arroyo, C y Mora, U.J. (2003). Aspectos tecnológicos del desarrollo del pejibaye (*Bactris gasipaes*) para palmito. *Agronomía Mesoamericana* 14(2): 165-176.
9. Atencia, O. O. (2018). Manual de análisis químico e instrumental– Fundamentos de análisis químico. Barrancabermeja, Colombia.
10. Barquero, M. (1977). Factibilidad agroeconómica del cultivo del pejibaye (*Bactris gasipaes H.B.K.*) en Costa Rica. [Tesis de grado]. Universidad de Costa Rica.
11. Blanco, A., Muñoz, L. (1992). Contenido y disponibilidad biológica de los carotenoides de pejibaye (*Bactris gasipaes*) como fuente de vitamina A. *Archivos Latinoamericanos de nutrición* 42 (2), 146-153.
12. Bogantes, A., Agüero, R y Mora, U.J. (2004). Palmito del pejibaye (*Bactris gasipaes*): Distancias de siembra y manejo de malezas. *Agronomía Mesoamericana*. 15(2):185-192.
13. Brenes, F. (1988). Diagnóstico agroeconómico del cultivo de pejibaye (*Bactris gnsipaes H.B.K.*) en el distrito de Tucurrique, Canton de Jimenes. [Tesis de grado] Universidad de Costa Rica.
14. Camacho, E. (1972). El pejibaye (*Guilielma gasipaes (H.B.K) L.H. Bailey*). Simposio Internacional sobre plantas de interés económico de la flora amazónica. IICA, Turrialba, 93, 101-106.

15. Chaves, A. y Hernández, J. (2017). Evaluación de las propiedades funcionales de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*) mediante secado por convección. [Tesis de grado]. Universidad del Cauca.
16. Clement, C., Weber, J., Van Leeuwen, J., Astorga, C., Cole, D., Arévalo, L y Arguello, H. (2004). Pejibaye *Bactris gasipaes* (Palmae). Why extensive research and development did not promote use of peach palm fruit in Latin America. *Agroforestry Systems*, 61, 195-206.
17. Cockerell, I., Francis, B. and Halliday, D., 1971. Changes in nutritive value of concentrate feedingstuffs during storage. Tropical Products Institute, London, U.K.
18. CODEX STAN 152-1985. Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 03 096 -11 para la harina de maíz y sémola de maíz sin germen.
19. CODEX STAN 176-1989. Norma del CODEX para la harina de yuca comestible.
20. De Oliveira, M., Martínez, H., Garnica, M. y Chang, Y. (2006.) Use of pejibaye flour (*bactris gasipea* Kunth) in the production of food pastas. *International journal of Food Science & technology*, 41(8), 933-937.
21. Dibari, F. (1997). Ecological Flour with pupunha. *Intermediate Technology Food Chain* (20) pp 7-8.
22. Dussán Sarria, S., Hurtado, D y Tamayo, J (2019). Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinoa y Chontaduro. Bogotá, Colombia.
23. Fallas, C. (2023). Pejibaye. Obtenido de <https://es.dreamstime.com/imagen-de-archivo-pejibaye-costa-rica-image25834211>
24. Fernández, M., Blanco, A y Mora, J. (1992). Contenido de ácidos grasos en cuatro poblaciones de pejibaye, *Bactris gasipaes* (Palmae). *Revista de Biología Tropical* 43 (1), 61-66.
25. Fournier, L.A. Pejibaye *Guilielma gasipaes* (H.B.K) L.H. Bailey. Turrialba, Costa Rica, IICA, s.f. 14 p.
26. Gallardo, M y Sierra, C. (1980). Condiciones óptimas de secado para la obtención de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K). [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional de Colombia.
27. García, K., y González K. (2014). Diseño y elaboración de harina de papa para puré instantáneo. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Ingeniería.
28. Garita, M., Godínez, J., y Tenorio, T. (2014). Estudio de factibilidad para la instalación de una planta procesadora de harina de pejibaye (*bactris gasipaes kunth*) por parte de la asociación de productores de frutas de la región brunca (asofrubrunca). [Tesis de licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
29. Gigante, S y Noguera, F. (2018). Principios de la preparación de alimentos. Montevideo, Uruguay.
30. Godoy, S.; Motta, E.; Forero, C.; Diaz, D. y Luna, G. Estandarización de harina de chontaduro para fortalecer su cadena productiva en el departamento del Cauca. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ingeniería Agroindustrial. Popayán, Colombia: 2006.

31. Gómez, G. (1997). Factores antinutricionales del pejibaye (*Bactris gasipaes*). Efecto sobre el crecimiento y diferentes parámetros bioquímicos en ratas jóvenes. [Tesis de maestría]. Universidad de Costa Rica.
32. González, L., Navarro, D., Vásquez, R. (2002). Deshidratación de *Bactris gasipaes* kunth (Pijuayo) por flujo de aire caliente y su empleo como sustituto del maíz en raciones para pollos parrilleros. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria* 2(2), 67-68
33. Herrera, G. (2015). Evaluación del efecto de la adición de harina de pejibaye pregelatinizada sobre el agrado general, la estabilidad de los lípidos y características físico-químicas en una salchicha con carne de res, cerdo y pollo, similar a la del mercado nacional. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
34. Ismalej Reyes, L. L. (2018). Galleta a base de harina de malanga. Guatemala. [http://biblioteca.galileo.edu/tesario/bitstream/123456789/1183/1/2018-T-lcta-24\\_ismalej\\_reyes\\_linda\\_liliana.pdf](http://biblioteca.galileo.edu/tesario/bitstream/123456789/1183/1/2018-T-lcta-24_ismalej_reyes_linda_liliana.pdf)
35. Ivorra, M. J. (2015-2016). *Nutrición y Salud Dieta Vegana*. España: UOC Universitat Oberta de Catalunya.
36. Johannessen, C (1967). Pejibaye Palm: physical and chemical analysis of the fruit. *Economic Botany* 21, 371-378.
37. Karam, M., Petit, J., Zimmer, D., Baudelaire., E. y Scher, J. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. En: *Journal of Food Engineering*, 2016, vol. 188, pág. 32-49. ISSN 0260-8774.
38. Leakey, R. (1999). Potential for novel food products from agroforestry trees: a review. Elsevier Science, 1-14.
39. Leterme, P., García, F., Londoño, A., Rojas, M., Buldgen, A y Souffrant, W. (2005). Chemical composition and nutritive value of peach palm (*Bactris gasipaes* kunth) in rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1505-1512.
40. López-Calvo, A.M.; et al. (2015). Evaluación de la aceptación por consumidores de un bocadillo de pejibaye (*Bactris gasipaes*) y estudio de su potencial como alimento funcional. En: *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol. 65, no 1.
41. Lorenzo, M. (10 de Abril de 2018). *HOLA.COM*. Obtenido de <https://www.hola.com/estar-bien/20180410122621/harinas-legumbres-sin-gluten/>
42. Martínez Astorga, J. F., & Téllez Gutiérrez, I. E. (2017). Aprovechamiento de la malanga (*Colocasia antiquorum*) mediante la elaboración de harina, galleta y empanizador en la planta piloto "Mauricio Díaz Müller" 2017. León. [http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/6983/1/24\\_1466.pdf](http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/6983/1/24_1466.pdf)
43. Martínez-Girón, J., Rodríguez-Rodríguez, X., Pinzón-Zárate, L. X., & Ordóñez-Santos, L. E. (2017). Caracterización físico-química de harina de residuos del fruto de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth, Arecaceae) obtenida por secado convectivo. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 599-613.
44. Matissek., R., Steiner, G y Schnepe, F. (1998). *Análisis de los alimentos: Fundamentos, métodos, aplicaciones*. (1ª ed.). Acirbia, Zaragoza.
45. MEFFCA, G. d. (2023). Paso a Paso: Elaboración de Harina y Conservas de Pejibaye. *Dirección General de Agregación de Valor y Transformación*, 14.

46. Meneses, A y Velasco J. (2017). Evaluación de las propiedades funcionales de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*) mediante secado por convección. [Tesis de Licenciatura]. Universidad del Cauca.
47. Montealegre, y. (2020). Caracterización fisicoquímica y nutricional de pasabocas de Caquetá, Colombia.
48. Mora Urpí, J., Clement, C., Weber, J. (1997). *Peach Palm. Bactris gasipaes Kunth. Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops*. 20. Rome: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute.
49. Mora Urpí, J y Gainza Echeverría, J. (1999). Palmito de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth): su cultivo e industrialización. (1ª ed.). Universidad de Costa Rica, San José.
50. Mora, Y. y Sandoval, M. (2019). Estudio de pre-factibilidad para la instalación de una planta procesadora de pastas alimenticias libres de gluten elaboradas a base de maíz. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Ingeniería.
51. Murillo, M., Zumbado, M. (1987). Composición química y valor nutritivo de la harina de pejibaye en la alimentación de las aves. UCR/CONICIT, San José.
52. NTE-INEN. (2015). Leche y productos lácteos determinación de contenido de nitrógeno método kjeldahl. Quito, Ecuador: NTE-INEN 16.
53. Orozco, J. M. (2023). Jardín botánico. Obtenido de <https://jmo.biologia.ucr.ac.cr/bactris-gasipaes/>
54. Orsini, S. M. (2021). Espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FT-IR) para . *Ciencia y tecnología alimentaria* , 8-11.
55. Pinzón, Z., Zapata, H., & Ordóñez, S. (2015). Análisis de los parámetros de color en salchichas Frankfurt adicionadas con extracto oleoso de residuos de chontaduro (*Bactris gasipaes*). *Información Tecnológica*, 26(5), 45-54.
56. Quirós, O. 2007. Descripción y análisis de la competitividad y sostenibilidad de agrocadenas no tradicionales y con potencial de desarrollo: el caso del pejibaye Segundo informe parcial. Centro de Investigación en Economía Agrícola y Desarrollo Agroempresarial, Universidad de Costa Rica.
57. RAYPA. (2019). *Raypa*. Obtenido de <https://www.raypa.com/prod/sistema-compacto-de-digestion-mbc/>
58. Rodríguez-Sandoval, E., A. Lascano y G. Sandoval, Influencia de la sustitución parcial de la Harina de Trigo por Harina de Quinoa y Papa en las Propiedades Termomecánicas y de Panificación de Masas, *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, ISSN: 0123-4226, 15(1), 199-207 (2012)
59. Rosentrater, K. A. y A. D. Evers. (2018). *Kent's Technology of Cereals: An Introduction for Students of Food Science and Agriculture*, 5ª Ed., 924p. Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
60. Sifre, M.; Simó, M.P.; Segura, A.; Tosca, P. (2019). *La harina*. Castellón de la Plana, España.

61. Sivakumar, R., Saravanan, R., Elaya Peruma., A. y Iniyar, S. Fluidized bed drying of some agro products – A review. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016, vol. 61, pág. 280-301. ISSN 1364-0321.
62. Sotelo, J. L. (2007). Secado. Obtenido de [https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/SECADO\\_pdf.pdf](https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/SECADO_pdf.pdf)
63. Souza, J.-A. (2010). Mudanças físico-químicas e sensoriais de farinha de arroz submetidas a torração em micro-ondas. Goiânia.
64. Teruel, M. (1995). Influencia de los procesos de cocción y conservación sobre el contenido de nitratos y nitritos en espinacas (*Spinacea oleracea* L.). [Tesis doctoral]. Universidad Computense de Madrid.
65. Tracy, M. (1987). Utilización de harina de pejibaye (*Bactris gasipaes* h.b.k.) en la elaboración de pan. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 37(1), 122-131.
66. Ugalde, H. y Pineda, M. (2004). Estudio de la deshidratación del pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K) para la elaboración de harina y su utilización en la formulación de una premezcla para queques. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
67. Wattson, D. (2010). Aprovechamiento de la harina de pejibaye en la elaboración de alimentos enriquecidos con compuestos bioactivos beneficiosos y la evaluación de su aceptación sensorial en consumidores. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
68. Vallecillo, R. (2018). El pejibaye: la palmera de la vida para los indígenas de las selvas lluviosas. SIMAS. Obtenido de: <https://www.simas.org.ni/noticias/1884/el-pejibaye-la-palmera-de-la-vida-para-los-indigenas-de-las-selvas-lluviosas/>
69. Vargas, G., & Argüelles, J. (2000). Clasificación y caracterización de veinte razas de palma de chontaduro (*Bactris gasipaes*H.B.K.) de acuerdo con las propiedades fisicoquímicas y bromatológicas del fruto. *Sinchi*,1, 1-19.
70. Vilaplana, M. 1982. Reconocimiento de las enfermedades del fruto de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.K.B.) durante y después de la cosecha en Costa Rica. Tesis Ing.Agr. Facultad de Agronomía. Escuela de Fitotecnia. Universidad de Costa Rica
71. Yanira Ixtán Mora Ruiz, M. N. (2019). *Estudio de pre-factibilidad para la instalación de una planta*. Managua.
72. Yuyama, L., Aguiar, J., Yuyama, C., Clement, S., Macedo, D., Favaro y Vannuncchi, H. (2003). Chemical composition of the fruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in central Amazonia Brazil. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 54(1), 49-56.
73. Zapata, A. (1978). Notas sobre el valor alimenticio del chontaduro. Boletín informativo.
74. ZZKD INSTRUMENT. (16 de marzo de 2023). Obtenido de <https://zzkdlab.com/horno-de-secado-al-vacio/dzf-6050-horno-de-secado-al-vacio.html>

## ANEXOS



*Ilustración 61 Fruto de Bactris gasipaes. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 62 Lavado de pejibaye. Fuente: Elaboración Propia.*



*Ilustración 63 Pesado del pejibaye. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 64 Reducción de tamaño del fruto. Fuente Elaboración propia*



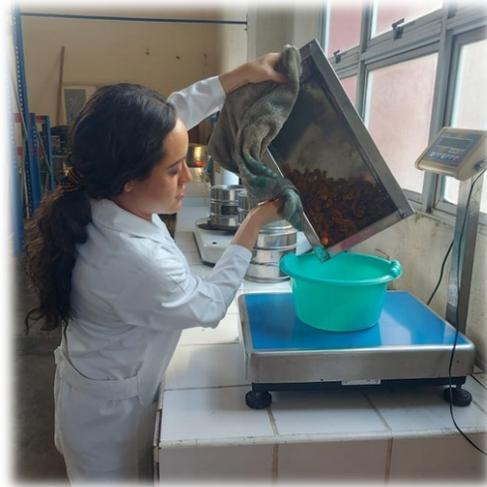
*Ilustración 65 Proceso de deshidratado. Fuente: Elaboración Propia*



*Ilustración 69 Pejibaye deshidratado previamente sacado del horno. Fuente: Elaboración Propia.*



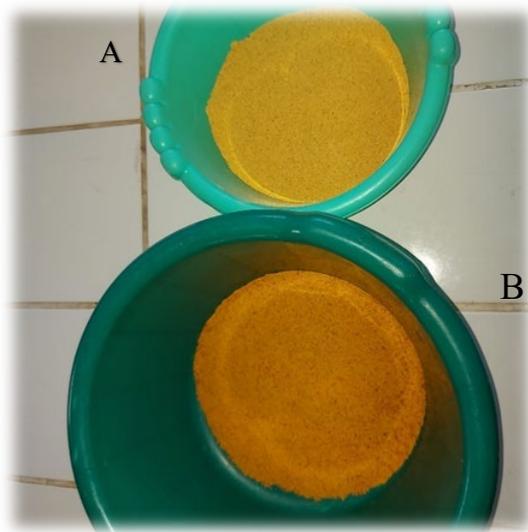
*Ilustración 66 Pejibaye cocido previamente del secado. Fuente: Elaboración Propia.*



*Ilustración 67 Pesado de peibaye luego del secado. Fuente: Elaboración Propia.*



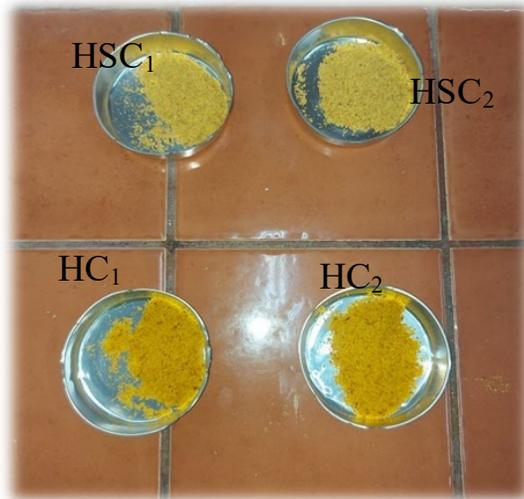
*Ilustración 68 Triturado de peibaye. Fuente: Elaboración Propia.*



*Ilustración 69 A) Harina de pejibaye cocida. B) Harina de pejibaye deshidrata obtenida. Fuente: Elaboración Propia.*



*Ilustración 70 Numeración del tamaño de tamiz. Fuente: Elaboración Propia.*



*Ilustración 71 Muestras de las harinas para el análisis de fibra. Fuente: Elaboración Propia.*



*Ilustración 72 Muestras de harina con hexano. Fuente: Elaboración Propia.*



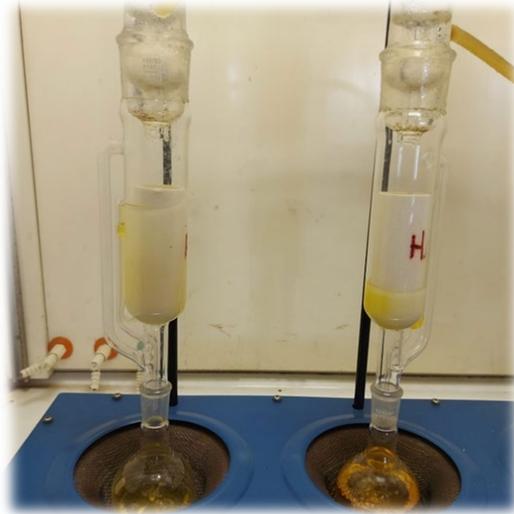
*Ilustración 73 Condensado y calentado de las soluciones. Fuente: Elaboración Propia.*



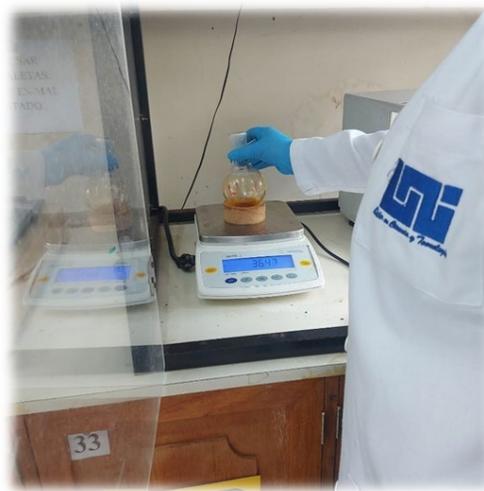
*Ilustración 74 Filtrado de la fibra. Fuente: Elaboración Propia.*



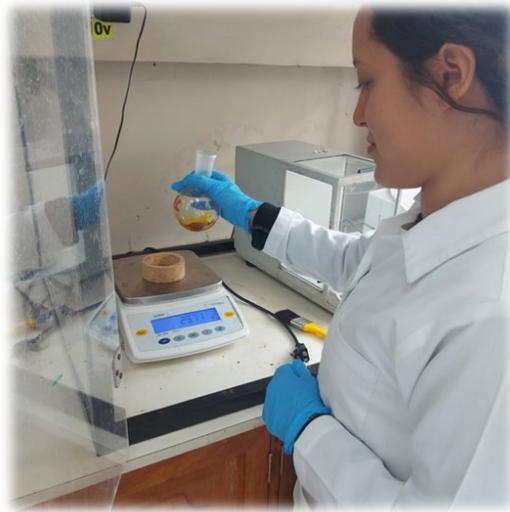
*Ilustración 75 A) pesado de la prueba de ceniza de la harina cocida. B) Pesado de la prueba de ceniza de la harina deshidratada. Fuente: Elaboración Propia.*



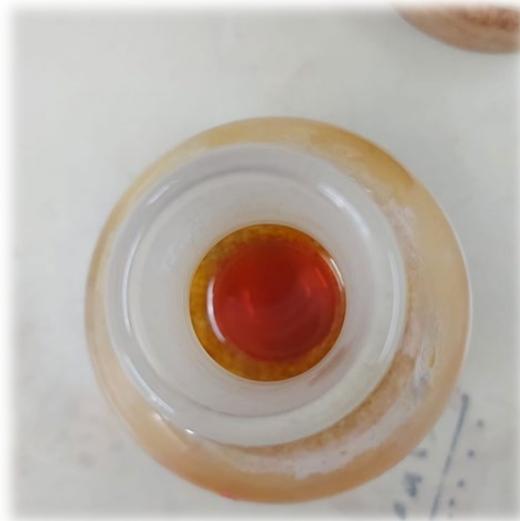
*Ilustración 76 Montaje de equipo para la determinación de grasa en la harina de pejibaye mediante la extracción sólido-líquido. Equipo extractor Soxhlet. Fuente: Elaboración Propia.*



*Ilustración 77 Pesado de aceite obtenido de la harina cocida. Fuente: Elaboración Propia.*



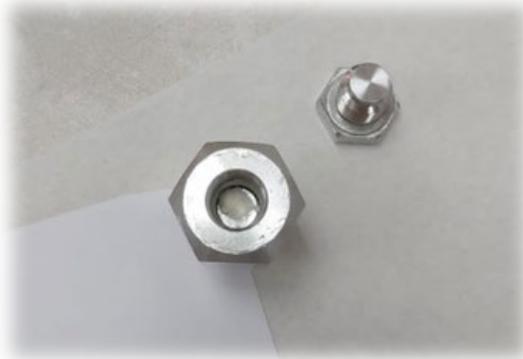
*Ilustración 78 Pesado de la harina deshidratada. Fuente: Elaboración Propia.*



*Ilustración 79 Aceite obtenido de las harinas. Fuente: Elaboración Propia.*



*Ilustración 80 Homogenización de muestra de harina de pejibaye y bromuro de potasio. Fuente: Elaboración Propia.*



*Ilustración 81 Pastilla fina obtenida luego de la fuerte presión realizada al troquel especial. Fuente: Elaboración Propia*