

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



**“PROPIEDADES FUNCIONALES, MORFOLÓGICAS Y TÉRMICAS DE
HARINA Y ALMIDÓN DE PLÁTANO VARIEDADES *Musa acuminata* AA Y
Musa acuminata AAA”**

Tesis

Para optar al título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

CRISTOPHER ABEL DEL ÁGUILA MELÉNDEZ

TINGO MARÍA - Perú

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO

DATOS GENERALES DE PREGRADO

Universidad : Universidad Nacional agraria de la Selva
Facultad : Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias
Escuela Profesional : Ingeniería en industrias alimentarias
Título de la Tesis : “PROPIEDADES FUNCIONALES, MORFOLÓGICAS Y TÉRMICAS DE HARINA Y ALMIDÓN DE PLÁTANO VARIEDADES *Musa acuminata* AA Y *Musa acuminata* AAA”
Autor : Christopher Abel Del Águila Meléndez
Asesora de Tesis : Dra. Elizabeth S. Ordoñez Gómez
Programa de investigación : Ciencias y Tecnología de Alimentos
Línea de investigación : Ciencias y Tecnología de Alimentos
Eje temático : Nutrición y Alimentos Funcionales
Duración : Abril - 2021
: Febrero - 2022
Financiamiento : Propio

Tingo María – Perú

2022



Bach. Christopher Abel Del Águila
Meléndez

Tesista



Dra. Elizabeth S. Ordoñez Gómez

Asesora



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Carretera Central Km. 1.21. Teléfono (062) 561385
Apartado Postal 156 Tingo María E.mail; fiaa@unas.edu.pe

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional".

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 002-2022

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público en forma virtual a las 6:30 p.m. del día 9 de febrero del 2022, en el equipo: Sustentación de Tesis de Pregrado FIIA-UNAS en la Plataforma Ms Teams, para calificar la tesis presentada por el Bach. **CRISTOPHER ABEL DEL ÁGUILA MELÉNDEZ**, titulada:

“PROPIEDADES FUNCIONALES, MORFOLÓGICAS Y TÉRMICAS DE HARINA Y ALMIDÓN DE PLÁTANO VARIEDADES *Musa acuminata* AA Y *Musa acuminata* AAA”.

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**, en consecuencia, el sustentante, queda apto para obtener el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**, de conformidad con el artículo 45° numeral 45.2, de la Ley Universitaria 30220; los artículos 132 inciso “k” y 135 inciso “f” del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 9 de febrero de 2022

Ing. Gunter Daza Rengifo
Presidente

Ing. Eduardo Alejandro Cáceres Almenara
Miembro

Ing. Victor Elvis Condori Rondán
Miembro

Dra. Elizabeth Susana Ordoñez Gómez
Asesora

DEDICATORIA

A Dios:

Por concederme la vida, bríndame sabiduría para resolver cada obstáculo que se presentó y fuerza para no rendirme en ningún momento, durante mi formación profesional y en el trayecto de mi vida.

A mi madre y mi padre:

Flor De María Meléndez Cubas y Cristóbal Del Águila Cachique, por su amor, consejos y ser mi motivación. Mi eterna gratitud.

A mis hermanos:

Bryan y Anthony por su cariño, apoyo, consejos y motivación.

AGRADECIMIENTO

- A mis padres, por su esfuerzo, apoyo y guía durante estos años.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por permitirme la oportunidad de realizarme como profesional.
- A la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, a los docentes por compartir sus conocimientos, a las secretarias y todo el personal que trabaja; por su apoyo incondicional durante toda mi formación profesional.
- A mi asesora la Dra. Elizabeth Ordoñez Gómez, por todo su enseñanza, guía, apoyo y dedicación desde la concepción hasta la culminación de este trabajo de investigación.
- Al Ing. Darlym Reátegui Díaz, Ing. Condori Rondán, Víctor Elvis, Ing. León Arévalo, Aurelia Isabel, Bach. José Luis Trujillo Ccanahuire, técnicos Yacha Melgarejo Celedonio y Ariza Jean Carlos por su apoyo, conocimiento y amistad durante la ejecución de este estudio.
- A mis tías Amalia y Nancy Del Águila, y mis primos, por el apoyo y la solidaridad durante la ejecución de esta investigación.
- A mis amistades por su apoyo moral e incondicional y compañerismo durante la ejecución de esta investigación y en la etapa universitaria.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1.Generalidades del plátano | 3 |
| 2.1.1. Origen | 3 |
| 2.1.2. Definición..... | 4 |
| 2.1.3. Nomenclatura | 4 |
| 2.1.4. Características | 5 |
| 2.1.5. Economía | 5 |
| 2.2.Generalidades de la harina | 6 |
| 2.2.1. Harina | 6 |
| 2.2.2. Harina de plátano..... | 7 |
| 2.2.3.Obtención de harina de plátano..... | 8 |
| 2.3.Generalidades del almidón | 8 |
| 2.3.1. Almidón | 8 |
| 2.3.2. Estructura | 9 |
| 2.3.3. Obtención del almidón..... | 9 |
| 2.3.4. Aplicación del almidón..... | 9 |
| 2.4.Propiedades térmicas | 10 |
| 2.4.1. Termogravimetría y calorimetría..... | 11 |
| 2.4.2. Termogravimetría..... | 12 |
| 2.4.3. Termogravimetría derivativa..... | 13 |
| 2.4.4. Calorimetría diferencial de barrido..... | 14 |

| | |
|---|----|
| 2.5. Propiedades morfológicas..... | 16 |
| 2.5.1. Análisis por microscopía..... | 16 |
| 2.5.2. Microscopio electrónico de barrido..... | 17 |
| 2.6. Propiedades tecnológicas funcionales de almidones | 17 |
| 2.6.1. Solubilidad..... | 18 |
| 2.6.2. Claridad..... | 18 |
| 2.6.3. Sinéresis..... | 19 |
| 2.6.4. Capacidad de absorción de agua..... | 19 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 21 |
| 3.1. Lugar de ejecución..... | 21 |
| 3.2. Materia prima | 21 |
| 3.3. Equipo, materiales de laboratorio y reactivos..... | 22 |
| 3.3.1. Equipos..... | 22 |
| 3.3.2. Materiales..... | 23 |
| 3.3.3. Reactivos..... | 23 |
| 3.4. Métodos de análisis | 23 |
| 3.5. Metodología experimental..... | 24 |
| 3.5.1. Preparación de la muestra de <i>Musa acuminata</i> AAA y AA | 24 |
| 3.5.2. Caracterización morfológica de la harina y almidón de plátano (<i>M. acuminata</i> AAA y AA) | 25 |
| 3.5.3. Determinación de las propiedades térmicas de la harina y almidón de plátano (<i>M. acuminata</i> AAA y AA) | 26 |
| 3.5.4. Propiedades funcionales tecnológicas del almidón de plátano (<i>M. acuminata</i> AAA y AA)..... | 28 |

| | |
|--|----|
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 31 |
| 4.1. Características morfológicas de la harina y almidón de plátano de plátano (<i>M. acuminata</i> AAA y AA) | 31 |
| 4.2. Determinación de las propiedades térmicas de la harina y almidón de plátano (<i>M. acuminata</i> AAA y AA) | 37 |
| 4.2.1. Análisis termogravimétrico..... | 37 |
| 4.2.2. Calorimetría diferencial de barrido..... | 46 |
| 4.3. Propiedades funcionales tecnológicas de almidón de plátano (<i>M. acuminata</i> AAA y AA)..... | 56 |
| 4.3.1. Claridad | 56 |
| 4.3.2. Estabilidad a la congelación-descongelación (sinéresis)..... | 59 |
| 4.3.3. Solubilidad en agua fría..... | 60 |
| 4.3.4. Capacidad de retención de agua..... | 62 |
| V. CONCLUSIONES | 64 |
| VI. RECOMENDACIONES | 65 |
| VII. ABSTRAC | 67 |
| VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 69 |
| IX. ANEXOS | 87 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Pág. |
|---|------|
| 1. Caracterización morfológica de harina y almidón de plátano | 33 |
| 2. Resultados TGA y DTG de harina y almidón de plátano | 39 |
| 3. Propiedades de gelatinización obtenidos mediante DSC | 48 |
| 4. Transmitancia de almidón de plátano variedad guayabo y moquicho..... | 57 |
| 5. Propiedades funcionales tecnológicas de almidón de plátano.. | 60 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| 1. Plátanos de <i>Musa Acuminata</i> AAA (A) y <i>Musa Acuminata</i> AA (B) | 22 |
| 2a. Micrografías a 1350X (A) y 3700X (B) de almidón de plátano guayabo | 34 |
| 2b. Micrografías a 880X (A) y 1900X (B) de almidón de plátano moquicho..... | 34 |
| 3a. Micrografías a 740X (A) y 3000X (B) de harina de plátano guayabo | 35 |
| 3b. Micrografías a 490X (A) y 2250X (B) de almidón de plátano moquicho..... | 35 |
| 4. Diagrama Termo analítico (TGA y DTG) de harina de plátano moquicho..... | 42 |
| 5. Diagrama Termo analítico (TGA y DTG) de harina de plátano guayabo..... | 42 |
| 6. Diagrama Termo analítico (TGA y DTG) de almidón de plátano moquicho..... | 44 |
| 7. Diagrama Termo analítico (TGA y DTG) de almidón de plátano guayabo | 44 |
| 8. Análisis termogravimétrico (DSC) de harina de plátano moquicho..... | 49 |
| 9. Análisis termogravimétrico (DSC) de harina de plátano moquicho..... | 50 |
| 10. Análisis termogravimétrico (DSC) del almidón de plátano moquicho | 52 |
| 11. Análisis termogravimétrico (DSC) del almidón de plátano guayabo..... | 52 |
| 12. Porcentaje de Transmitancia de almidón variedad guayabo y moquicho a 4 °C y temperatura ambiente..... | 57 |

RESUMEN

Anualmente se pierde cerca de 33 mil millones de toneladas de plátano, su transformación en harina y almidón podría recuperar estas mermas y darles un valor agregado para darles uso en la industria alimentaria, por lo que el objetivo de esta investigación fue caracterizar las propiedades morfológicas, térmicas y funcionales tecnológicas de harina y almidón de plátano *Musa acuminata* AAA y AA (moquicho y guayabo). Las muestras de harina y almidón, se analizaron con un microscopio electrónico de barrido (SEM) para registrar la forma y el tamaño; por medio de un calorímetro se aplicó la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC) y termogravimetría (TGA y DTG). Para el caso de los almidones se determinó sus propiedades funcionales tecnológicas. La morfología de las harinas y almidones señalaron formas ovalas, alargadas con texturas lisas y compactas. Las propiedades térmicas reflejaron mayor temperatura de degradación en los almidones (moquicho 261,64 °C y guayabo 258,96 °C), que en las harinas (moquicho 230,81 °C y guayabo 228,32 °C), temperaturas de gelatinización y entalpías menores en el moquicho ($8,8 \pm 0,29$ harina y $8,99 \pm 0,29$ almidón) que en el guayabo ($11,06 \pm 0,62$ harina y $11,37 \pm 0,45$ almidón). La caracterización funcional tecnológica de los almidones indicó que ambos presentan claridad a temperatura ambiente, opacidad a 4 °C y tienen baja sinéresis (0,87 % a 1,25 %). La mayor solubilidad y capacidad de retención

de agua fueron para el moquicho (4,15 % y 1,2 g.g⁻¹), y el menor para guayabo (2,23 % y 0,92 g.g⁻¹).

Palabras Clave: hortalizas, hortalizas de fruto, almidón, harinas, plátano, *Musa acuminata*.

I. INTRODUCCIÓN

El plátano es una de las especies tropicales más cultivadas del mundo, alcanzando una producción de 100 millones de toneladas cada año y en aumento, volviéndose base de la economía de muchos países y siendo un fuerte potencial en el Perú. En 2019 alcanzó el récord de exportación a nivel mundial con casi 20 millones de toneladas. A pesar de una constante búsqueda de optimización de su producción, casi un 25 % no alcanza los requisitos de calidad mayor a clase "A" para exportación (variedad, número y tamaño de dedos por mano) (SALAZAR *et al.*, 2022). Los plátanos rechazados se designan al consumo local, alimentación animal y materia prima para la industria. El consumo per cápita de plátano en el Perú fue de 30,16 Kg en el 2020, sin embargo, casi un tercio de todos los plátanos (exportación y consumo local) se pierde debido a su consumo mayoritario como plátanos maduros, predispuesto a daños mecánicos, a esto se le suma que, durante el exceso de cosecha, la pérdida aumenta y llega a ser inevitable dejar que parte de la producción perezca. Para recuperar la biodisponibilidad y aprovechar las propiedades que posee este fruto, se ha destacado su procesamiento, pero a partir del plátano verde (JIANG *et al.*, 2017). Asimismo, los plátanos son una fuente económica importante en la región, y su uso es generalmente de consumo directo, ya sea cocido o frito, la variedad *Musa acuminata* AA (guayabo) es conocida por sus características positivas de aroma y sabor; por el contrario, la de *Musa acuminata* AAA (moquicho) es

consumida mayormente por consumo directo. Su transformación y comercio en forma de harina y almidón es muy limitada y su tecnología no ha sido tan desarrollada por lo mismo sus propiedades morfológicas, térmicas y funcionales no han sido debidamente estudiadas. Teniendo en cuenta lo anterior, esta investigación plantea incrementar el conocimiento científico sobre las propiedades de la harina y almidón de las variedades ya mencionadas, para lo que se tuvieron en cuenta los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Determinar la morfología, propiedades térmicas y funcionales tecnológicas de harina y almidón de plátano *Musa acuminata* AAA y AA.

Objetivos específicos:

- Caracterizar morfológicamente la harina y almidón de plátano (*M. acuminata* AAA y AA)
- Determinar las propiedades térmicas de la harina y almidón de plátano (*M. acuminata* AAA y AA)
- Determinar las propiedades funcionales tecnológicas del almidón (*M. acuminata* AAA y AA)

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del plátano

2.1.1. Origen

En un principio los bananos y plátanos diploides (no comestibles y sin semillas) se generaron en las regiones Pacífico occidental y sudeste de Asia (CHAVEZ-SALAZAR *et al.*, 2017), donde se desarrollaron hasta formar las Musaceae triploides comestibles a partir de un cruce natural de dos especies silvestres: *Musa acuminata* Colla (genoma A) y *Musa balbisiana* Colla (genoma B), siendo los genómicos influyentes en la generación de híbridos y poliploides (MANZO-SÁNCHEZ *et al.*, 2015). Las musáceas triploides (genomas AAA, BBB, AAB, ABB, etc.) resultantes fueron seleccionadas por sus características de tamaño del fruto, vigor y capacidad de adaptación, siendo éstas superiores a sus ancestros diploides (ROBINSON *et al.*, 2010). Los primeros registros de Musaceae comestibles datan de la India hace 2500 años, además, se determinó que los genes de *M. acuminata* concedieron a los híbridos resistencia a sequía y sabor dulce, mientras que los genes de *M. balbisiana* contribuyeron a aumentar la resistencia a enfermedades, el valor nutricional y el contenido de almidón, (SALES *et al.*, 2011).

La distribución de bananos y plátanos fuera de Asia consistió en el transporte de brotes o bulbos (propagación asexual) a diferentes lugares de la región tropical, siguiendo la ruta a Madagascar (500 d.C.), las costas orientales

de África, el Congo hasta llegar a las costas occidentales (siglo XIV y XV). Por medio de la colonización portuguesa, las Musáceas llegaron a las Islas Canarias y tras la conquista de los españoles, estos últimos las llevaron a tierras de Santo Domingo (República Dominicana), así las musáceas llegaron a América en 1516 y finalmente llegaron a las costas de Centroamérica y el Caribe en el siglo XVI (ROBINSON *et al.*, 2010).

2.1.2. Definición

El banano es un término general que hace referencia a varias Musa de la familia Musaceae (SURENDRA *et al.*, 2018), aquí se encuentran bananos y plátanos, caracterizados por ser un cultivo dinámico en regiones tropicales y subtropicales del mundo (ROBINSON *et al.*, 2010). El banano es un cultivo atractivo en su forma madura por ser comestible directamente, así como en plátano verde por su interés en explotación comercial debido a su almidón disponible (DHULL 2020).

2.1.3. Nomenclatura

Carolus Linnaeus, en 1783, definió con el nombre *Musa sapientium* a todos los plátanos de sabor dulce cuando están maduros y se consumen frescos, mientras que llamó a los plátanos como *Musa paradisiaca*, debido a su necesaria cocción para su consumo en su estado verde. Sin embargo, los nombres respectivos son especies aparentes y no especies reales, ya que los bananos y plátanos están relacionados con los híbridos triploides del grupo AAB (ROBINSON *et al.*, 2010).

2.1.4. Características

Las especies que conforman las musáceas se definen como monocotiledóneas, herbáceas (no posee estructura de madera), y tienen una hoja perenne debido a la generación de brotes o bulbos para reemplazar las hojas muertas de la planta madre (CASTAÑEDA *et al.*, 2021). El plátano es una planta herbácea que posee pseudotallos, con origen en cormos carnosos, donde se desarrollan yemas laterales. Las hojas denotan una distribución helicoidal y las bases foliares circundan el cormo, formando el pseudotallo. La inflorescencia crece a través del centro del pseudotallo hasta alcanzar la superficie. Posee una capacidad de crecimiento mayor comparándolo con otros árboles frutales, produciendo racimos y frutos durante todo el año (SOTO, 2008). Componentes químicos tales como los glucósidos de apigenina, miricetina-3-O-rutinósido, kaempferol-3-O-rutinósido, dopamina y serotonina han sido reportados en diversas partes y variedades del plátano (SIDHU Y ZAFAR, 2018).

2.1.5. Economía

Esta especie es ampliamente cultivada y consumida en el mundo por su aroma y sabor agradable (KHAWAS *et al.* 2014). Los cultivos de plátano se reafirmaron como base económica de algunos países latinoamericanos tales como Brasil, Costa Rica, Colombia, Ecuador, así también de países como Filipinas, China e India (SCOTT, 2020). Por su valor nutricional, el banano y el plátano es de las más consumidas en el mundo, siendo el cuarto cultivo alimenticio más importante luego del arroz, el trigo y el maíz (BRUINSMA, 2017).

Asimismo, este cultivo representa una vital fuente de ingresos para familias rurales que trabajan directa o indirectamente con él (ROBINSON *et al.*, 2010).

En el Perú existen 160 mil hectáreas de producción de plátano y banano, concentrándose más del 70 % en la región amazónica. Desde el año 2000 nuestro país se ha convertido en uno de los principales exportadores de este cultivo permitiendo una mejor calidad de vida de los productores (INIA, 2021). La producción de plátano para la región de Huánuco creció de 18 mil 853 toneladas a 18 mil 876 toneladas de marzo de 2020 a marzo de 2021 (INEI, 2021). En la coyuntura de la pandemia se registró un aumento de 2 % en el valor bruto de la producción de plátano en 2020 respecto al 2019 (LEÓN, 2021) y el consumo per cápita de plátano en el Perú fue de 12,75 Kg en el 2015 (POSADA *et al.*, 2017).

2.2. Generalidades de la harina

2.2.1. Harina

El Codex Alimentarius define la harina de trigo como el producto elaborado con granos de trigo común (*Triticum aestivum* L.), trigo ramificado (*Triticum compactum* Host) o combinaciones de ellos por medio de procedimientos de trituración o molienda en los que se separa parte del salvado y del germen, y el resto se muele hasta darle un grado adecuado de finura.

La norma técnica peruana (NTP 205.064 2015) define la harina como el producto destinado al consumo humano obtenido de la molienda gradual y metódica de granos limpios. Debe ser fortificada con micronutrientes, según

normativa vigente. Puede tener agentes de tratamiento de harina y/o otros micronutrientes. Los requisitos para ser considerado harina son los siguientes:

- Ser exenta de suciedad en cantidades que representen un peligro para la salud humana.
- Ser un producto homogéneo, sin grumos considerando la compactación natural del envasado y estibado, exenta de toda sustancia y cuerpo extraño a su naturaleza.
- De color blanco (extra), blanco cremoso (especial), blanco amarillento o marrón claro (morena), según su clasificación.
- De olor característico, sin indicios de rancidez o enmohecimiento.

Otra definición la ofrecen HUANG y BOHRER (2020), quienes afirman que la harina consiste en la molienda, tamizado y secado de una semilla, tubérculo, raíz o fruto, manteniendo sus componentes auténticos y disminuyendo el contenido de agua. Una de los elementos mayoritarios y característicos de una harina es el almidón, alcanzando un porcentaje alrededor del 60 % en promedio.

2.2.2. Harina de plátano

La harina de plátano es un producto natural elaborado a partir de la transformación de banano verde mediante el uso de un método de secado para posiblemente superar las características percederas (AFIFAH *et al.*, 2020). Es un polvo de color blanco parduzco, de fácil digestión, susceptible a la humedad y de fácil cocción. La harina de plátano es uno de los alimentos más equilibrados porque posee todos los grupos de vitaminas y nutrientes, muy rica en hidratos de carbono y sales minerales. OVANDO (2008) menciona que la harina de

plátano verde, en contraste con su almidón, se oscurece con el paso del tiempo, debido posiblemente a los compuestos fenólicos aún presentes en la harina.

2.2.3. Obtención de harina de plátano

La extracción de harina requiere un bajo número de operaciones unitarias, comenzando con el lavado, inmersión en una solución de manipuleo para evitar el pardeamiento, corte en rodajas, un método de secado, molienda en seco, tamizado y envasado (RODRÍGUEZ-AMBRIZ *et al.*, 2017). Los rendimientos pueden variar dependiendo de la fuente de extracción según la especie, desde 25 % hasta 66 % (MONTROYA *et al.*, 2014; RODRÍGUEZ-AMBIZ *et al.*, 2017).

2.3. Generalidades del almidón

2.3.1. Almidón

El almidón es el carbohidrato que se encuentra en mayor proporción en el endospermo de los cereales, reserva del parénquima en tubérculos, raíces y frutos; se encuentra en forma de gránulos en las células, formando estructuras discretas (CASTAÑEDA *et al.*, 2021); también es el hidrato de carbono más abundante en la tierra, el cual da el mayor aporte de energía a los humanos (ACOSTA-PÉREZ *et al.*, 2018). Asimismo, constituye una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los alimentos (GARCÍA *et al.*, 2016). En función de estas propiedades es empleado en la preparación de sopas, helados, gelatinas y conservas (SULBARÁN *et al.*, 2018).

2.3.2. Estructura

El almidón está constituido por dos polisacáridos, químicamente diferenciables, la amilosa y la amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces α (1 - 4), en la cual algunos enlaces α (1-6) pueden estar presentes. De otro modo, la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa constituida de 94 a 96 % por enlaces α (1 - 4), y de 4 a 6 % por uniones α (1 - 6) (MARTÍNEZ *et al.*, 2015). Dependiendo de la composición y arreglo estructural, los almidones adquieren propiedades fisicoquímicas y térmicas únicas según las características de cada fuente de origen (FIGUEROA *et al.*, 2016).

2.3.3. Obtención del almidón

La obtención de almidón requiere generalmente las siguientes operaciones unitarias: Lavado, pelado, corte de la pulpa, inmersión en solución anti pardeamiento, molienda en húmedo con disolvente, tamizado con diferentes tamaños de apertura, centrifugación del disolvente, secado de la pasta de almidón, molienda en seco, tamizado y envasado (CHAVEZ-SALAZAR *et al.*, 2017).

2.3.4. Aplicación del almidón

Los almidones representan un recurso renovable, biodegradable y económico, muy abundante en la naturaleza y constituyen el principal carbohidrato de reserva de las plantas. Pese a esto, el mercado mundial se basa principalmente en almidones de maíz, papa, camote y yuca, donde el maíz es la

fuelle principal de la produccióm mundial (SAPPER Y CHIRALT, 2018). Las fuentes de almidón antes mencionadas han sido las más estudiadas y utilizadas, pero actualmente ha incrementado el interés en la investigación de almidones no convencionales. El almidón es un polisacárido que se utiliza en la industria alimentaria como agente espesante, estabilizante, gelificante, formador de película, encapsulante e higroscópico, entre otros (CHI *et al.*, 2008). Las propiedades del almidón determinan significativamente la calidad de los alimentos donde se aplican. La composición, estructura y propiedades del almidón tienden a variar mucho entre diferentes fuentes vegetales. Dicha diversidad en las propiedades del almidón sugiere diferentes aplicaciones. Las relaciones estructura-función-utilización del almidón son información decisiva para incrementar la aplicación industrial de los almidones no convencionales (ZHU, 2020).

2.4. Propiedades térmicas

El análisis térmico comprende un conjunto de técnicas que analizan una propiedad de una muestra, la cual es monitoreada en función del tiempo o temperatura, cuando se la somete a un proceso programado de cambio de temperatura en atmósferas controladas (VENEGAS, 2017; White *et al.*, 2011). Existen diversos métodos de análisis térmicos, que difieren por los programas de temperatura y las características que miden, estos mismos métodos tienen relevante aplicación en el control de calidad como en la investigación de productos (farmacéuticos, arcillas y minerales, metales y aleaciones, polímeros

y plásticos) (BENITO, 2014). ALVARADO (2005) enumera a los siguientes como las principales técnicas de análisis térmico:

- Termogravimetría (TGA).
- Termogravimetría diferencial (TGA).
- Calorimetría diferencial de barrido (DSC).
- Análisis termomecánico (TMA).
- Termomagnetometría (TM).
- Termosonometría (TS).
- Análisis térmico de emanación (ETA).
- Análisis de termopartículas (TPA).

Asimismo, este último autor también menciona que las principales aplicaciones del análisis térmico son:

- Determinación de datos térmicos.
- Cambios estructurales.
- Caracterización de materiales.
- Análisis cualitativo.
- Análisis cuantitativo.
- Control de calidad.

2.4.1. Termogravimetría y calorimetría

Las técnicas de análisis térmico brindan datos térmicos y cinéticos de las muestras. Esas técnicas pueden catalogarse conforme el tamaño de la muestra, así, en la escala de miligramos, las técnicas más utilizadas son el análisis gravimétrico térmico (TGA) que indica cantidad de pérdida o ganancia

de peso en la muestra al variar la temperatura y la calorimetría diferencial de barrido (DSC) que reporta datos de la energía absorbida o liberada por la muestra al ser sometida a variación de temperatura (HOYOS-LEYVA, 2017), en otras palabras, ALVARADO (2005) menciona que la base de la termogravimetría (TGA) son los cambios en el peso, mientras que la base de la calorimetría diferencial de barrido (DSC) son los cambios de energía.

2.4.2. Termogravimetría

El análisis por termogravimetría o TGA (Thermo Gravimetric Analysis) es una técnica de análisis térmico desarrollado para identificar y medir los cambios físicos y químicos, que sufren los materiales cuando son expuestos a variaciones de temperatura controladas, y consiste en registrar continuamente la variación de la masa del material en estudio conforme se varía la temperatura a una tasa térmica constante en el tiempo (GÜEMEZ, 2018). La atmosfera debe ser conocida y puede ser estática o variable con caudal determinado, asimismo los resultados de estos análisis suelen ser presentados por gráficas determinadas termogramas o curvas termoanalíticas donde en el eje Y se presenta el peso de la muestra y en el eje X, la temperatura o el tiempo GRANADOS (2015). La termogravimetría puede proporcionar información acerca de los fenómenos físicos, como las transiciones de fase de segundo orden, incluyendo la vaporización, sublimación, absorción, adsorción, y desorción, así como de fenómenos químicos, como la quimisorción, desolvatación, descomposición y solido-gas como la oxidación o reducción. Un análisis termogravimétrico funciona registrando continuamente la masa de una

muestra en función de la temperatura (aumento controlado de temperatura/experimento dinámico) o tiempo (temperatura constante/experimento isoterma) bajo una atmósfera controlada (CHAND *et al.*, 2009).

MORALES *et al.* (2015) y ALVARADO (2005) precisan como aplicaciones más comunes de la termogravimetría a las siguientes:

- Estudio de descomposición y estabilidad térmica.
- Estudio de mecanismos de degradación y cinética de reacción.
- Estudios composicionales.
- Determinación de contenido de humedad, materia volátil, carbono.
- Caracterización de materiales por medio de análisis de patrones de descomposición característicos (comparación de curvas).
- Determinación de cenizas.

2.4.3. Termogravimetría derivativa

La termogravimetría derivativa (DTG) es un método asociado al cambio de masa y determina la derivada del cambio en la masa (o velocidad de pérdida de peso) en función al tiempo o temperatura. Las curvas de DTG no poseen mayor información que la curva de TGA obtenida en un experimento dado, pero amplifica los ruidos y por lo mismo la curva (datos) deben “suavizarse” para obtener una curva decente para presentación. Las áreas bajo los picos de DTG son proporcionales a los cambios de masa en la muestra. Para la resolución de las curvas complejas de TG se registran las curvas DTG, con la finalidad de determinar las temperaturas y pérdida de masa en curvas de TG. Su gráfica

representa la velocidad de cambio de la masa (dm/dt) en función de la temperatura (ROJAS Y BARRAZA, 2009).

2.4.4. Calorimetría diferencial de barrido

La calorimetría diferencial de barrido, o DSC (Differential Scanning Calorimetry), es una técnica para el análisis térmico que permite determinar la cantidad de calor que absorbe o libera una sustancia mantenida a temperatura constante o cuando es calentada a velocidad constante, en un determinado tiempo; esta técnica permite el estudio de procesos donde suceden variaciones de entalpía, registrando las temperaturas donde ocurren cambios químicos o físicos, puntos de cristalización y ebullición, entalpías de reacción y determinación de otras transiciones de primer y segundo orden (GRANADOS, 2015). Para el análisis se toma una muestra de una masa conocida y se la somete a calor para luego analizar los cambios que se producen en su capacidad calorífica o entalpía a medida que se modifica el flujo de calor, por su flexibilidad, y dado que la mayoría de los materiales presentan algún tipo de transición, la técnica DSC se emplea en múltiples industrias (PERKIN, 2018). Por medio del DSC se puede evaluar el efecto de la gelatinización y retrogradación de la harina y los almidones y la influencia de la velocidad de calentamiento en el proceso de transición (PINEDA-GÓMEZ *et al.*, 2010), así como también, determinar valores de capacidad calorífica, entalpía de transición, cinética de reacción, pureza del material y temperatura de transición vítrea (HÖHNE *et al.*, 2013)

El fin del DSC es registrar la diferencia de entalpía entre la muestra y el material inerte de referencia en función de la temperatura o del tiempo, cuando ambos están sometidos a un programa controlado de temperaturas. La

muestra y la referencia se alojan en dos crisoles idénticos que se calientan mediante resistencias independientes; lo que permite aplicar el principio de “balance nulo” de temperatura, cuando en la muestra ocurre una transición térmica (cambio físico o químico con absorción o liberación de calor), se adiciona energía térmica bien sea a la muestra o a la referencia, con objeto de mantener ambas a la misma temperatura. La energía térmica es exactamente equivalente en magnitud a la energía absorbida o liberada en la transición, lo que permite que el balance de energía arroje una medición calorimétrica directa de la energía de la transición (DOMÍNGUEZ, 2013). Lo ideal es que la transmisión de calor sea instantánea, por lo cual es óptimo trabajar con muestras muy pequeñas, las cuales se coloca en crisoles, preferentemente cerrados herméticamente, para impedir variaciones en la humedad durante el experimento (VENEGAS, 2017).

DOMÍNGUEZ (2013) menciona las siguientes aplicaciones más comunes de la calorimetría diferencial de barrido:

- Calor específico y propiedades en la que esta varia.
- Transición de fase.
- Polimorfismos.
- Determinación de puntos de fusión.
- Determinación de parte amorfa y cristalina.
- Cinéticas de reacción.
- Tiempo e inducción a la oxidación.
- Descomposición.

2.5. Propiedades morfológicas

Las características morfológicas o microestructurales de harinas y almidones permiten potencializar su aplicación como aditivo o biopolímero, pues estas están directamente relacionadas con su funcionalidad tecnológica, tal como menciona OTEGBAYO *et al.* (2010), quien relaciona la temperatura de gelatinización entre otras cosas al tamaño del gránulo de almidón. Por lo tanto, se convierte en prioritario caracterizar morfológicamente almidones y harinas disponibles en la zona y contrastarlos con reportes anteriores para establecer particularidades en las fuentes de estudio.

Las características estructurales de harinas y almidones, tales como tamaño, forma y naturaleza cristalina del gránulo, son propiedades de interés (SHITTU *et al.*, 2016). El tamaño del gránulo en estas puede variar entre 1 y 100 μm , dependiendo de su procedencia botánica, existiendo inevitable diferencia de tamaño en una misma planta. La forma puede variar, siendo redonda, elíptica, ovalada, lenticular o poligonal. Se conoce que los gránulos más pequeños han sido reportados en arroz y amaranto (1 y 10 μm) (CASTAÑEDA *et al.*, 2021).

2.5.1. Análisis por microscopía

Para caracterizar morfológicamente las muestras de harina y almidón, actualmente se emplea la microscopía electrónica de barrido, donde se observan los gránulos, diferenciándose su tamaño, forma y superficie (FONTES *et al.*, 2017). Esta técnica de observación y análisis de superficies proporciona información de relieve, textura, tamaño y forma del grano y puede ser aplicada a muestras biológicas y minerales (MONTROYA *et al.*, 2014).

2.5.2. Microscopio electrónico de barrido

El microscopio electrónico de barrido o SEM (Scanning Electron Microscope) es un instrumento versátil, confiere la capacidad de observar y caracterización superficialmente materiales orgánicos e inorgánicos, dando información morfológica y de composición química rápida, eficiente y simultáneamente del material analizado. Este tipo de microscopios utilizan un haz de electrones en vez de un haz de luz para formar la imagen, posee una gran profundidad de campo, que permite un enfoque de una gran parte de la muestra a la vez. También produce imágenes de alta resolución, que significa que características espacialmente cercanas en la muestra pueden ser examinadas a una alta magnificación. La preparación de las muestras es sencilla, sólo requieren que estas sean conductoras, caso contrario (muestras orgánicas, biológicas, vidrios, polímeros) necesitan una cubierta metálica para lograr su observación (CASTROVIEJO, 2020).

2.6. Propiedades tecnológicas funcionales de almidones

Las propiedades tecnológicas funcionales que se estudian habitualmente en el almidón son la solubilidad, la retención de agua, sinéresis y claridad (SHITTU *et al.*, 2017; GIRALDO *et al.*, 2016). En la industria alimentaria se necesitan almidones con buena capacidad de absorción de agua, solubilidad y mayor estabilidad térmica (REDDY *et al.*, 2013). Los almidones nativos presentan propiedades funcionales deseables para fines específicos en alimentos; la gelatinización, retrogradación, solubilidad, claridad y capacidad de

retención de agua; son fenómenos que facilitan determinar la aplicación adecuada de un almidón (TORRE *et al.*, 2008).

2.6.1. Solubilidad

La solubilidad representa los porcentajes de amilosa y amilopectina lixiviados a una cierta temperatura (VARGAS Y FLORES, 2021), es decir la cantidad de soluto que se puede disolver en una cantidad fija de disolvente a una determinada temperatura, puesto que esta propiedad está fuertemente influenciada por la temperatura. MEAÑO *et al.* (2014) define a la solubilidad en agua como la medida de la cantidad de amilosa que se libera del interior del gránulo cuando empieza a perder su estructura por efecto de la absorción de agua. La solubilización de amilosa y amilopectina son cambios estructurales importantes durante y después de la gelatinización de gránulos de almidón (HOOVER, 2001). La solubilidad es una propiedad primordial de las sustancias, se han aplicado muchos métodos para medir solubilidades por su necesidad de conocerla en campos como la industria, la química, ambiente y farmacéutica para poder brindar predicciones seguras (SAENZ, 2014).

2.6.2. Claridad

La claridad del gel de almidón es un parámetro muy importante para diversas aplicaciones alimentarias puesto que es clave para determinar su aplicación en productos alimenticios debido su capacidad de otorgar opacidad o brillantez al producto en los que se apliquen (VARGAS Y FLORES, 2021). La amilosa tiene gran efecto en la claridad y la estabilidad de los geles, influyendo

la presencia de cadenas relativamente cortas de amilosa o amilopectina en el aumento de la opacidad en productos alimenticios (LAJOLO Y WENZEL, 2006).

2.6.3. Sinéresis

Cuando un gel de almidón cocido, enfriado y se mantiene en reposo, se produce una asociación más cristalina de amilosa y se manifiesta claramente la pérdida de agua del gel y la contracción (VARGAS Y FLORES, 2021). Para la formación de cristales en la retrogradación, la amilosa y las ramificaciones de amilopectina se tienen que desligar del agua generando exudados, lo cual se conoce como el fenómeno de sinéresis (BERTOLINI, 2010). La aplicación de los almidones en los alimentos se ve definida por su tendencia a retrogradarse y producir sinéresis (ACHAYUTHAKAN y SUPHANTHARIKA, 2007). Un menor grado de sinéresis (mayor estabilidad) influye positivamente a conservar las características sensoriales (textura, apariencia, consistencia y forma) de los productos en los que se utilizan (SOLORZA *et al.*, 2002).

2.6.4. Capacidad de absorción de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) se define como la habilidad que tiene un producto para retener el agua propia y añadida, cuando se le somete a un esfuerzo mecánico y térmico (PÉREZ Y PONCE, 2013). La relevancia de esta propiedad radica en que una mayor CRA favorece la gelatinización del almidón (MBOUGUENG *et al.*, 2012). TORRE *et al.* (2008) afirman que la capacidad de absorción de agua de los almidones influye

directamente en la claridad de las dispersiones y pastas en los que se usan como insumo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de Central de Investigación (LCI), Análisis de Alimentos, Química y Bioquímica de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en la ciudad de Tingo María; distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, a una altitud de 660 m s.n.m., a 09° 17' 08" de latitud sur, a 75° 59' 52" de latitud oeste, con clima tropical húmedo y con una humedad relativa media de 84 % y temperatura media anual de 26 ± 2 °C.

3.2. Materia prima

Los plátanos de *Musa Acuminata* AAA (guayabo) y *Musa Acuminata* AA (moquicho) utilizados fueron obtenidos del Centro de Investigación y Producción Tulumayo perteneciente a la Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María (UNAS), localizado en el distrito José Crespo y Castillo, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, ubicado a 650 m s.n.m., a 09° 09' 00" de latitud sur, a 75° 59' 00" de longitud oeste, con clima de bosque subtropical húmedo y humedad relativa promedio de 84 %, temperatura promedio anual de 24 °C; las precipitaciones pluviales pasan de 3000 mm al año.



Figura 1. Plátanos: *Musa Acuminata* AAA (A) y *Musa Acuminata* AA (B)

3.3. Equipo, materiales de laboratorio y reactivos

3.3.1. Equipos

Centrífuga Hettich Mikro 22R, Alemania; baño María Memmert WNB 22, Alemania; vortex Genie 2 SI-0256, Scientific Industries, USA; microscopio electrónico de barrido Phenom World, modelo Phenom ProX, Países Bajos; metalizador Leica, modelo EM Ace 200, USA; balanza Analítica RADWAG, modelo AS 220.R, Polonia; licuadora Oster, modelo BLSTBC4129-053, México; molino para granos Corona, Colombia; molinillo de cuchillas Bosch TSM6013B, Eslovenia; calorímetro, marca Setaram, modelo Lasys evo, USA; estufa marca MMM group, modelo EC 222 ECO, Alemania; bomba de vacío Pfeiffer Vacuum, modelo pascal 2005sd, Francia; homogeneizador Hielscher Ultrasonics, modelo UP50H, Alemania; espectrofotómetro Thermo Scientific™ Genesis 150, USA; refrigerador-congelador, LG modelo GR-GR-S392QLC, Corea; congelador vertical, BOSCH, modelo GSD32, Brasil.

3.3.2. Materiales

Tubos de ensayo de vidrio de 10 mL y 25 mL, tubos de ensayo de plástico de 8 mL, bandejas de secado de acero inoxidable de 30 x 40 cm y de 15 x 20 cm, recipientes de aluminio, cuchillo, tabla de picar alimentos, vasos de precipitado de 500 mL y 1000 mL, probeta de 1000 mL, termómetro de mercurio, placas Petri de vidrio.

3.3.3. Reactivos

Ácido cítrico (99+%) uso alimentario, marca Alfa Aesar; bisulfito de sodio, químicamente puro para uso alimentario, marca BASF.

3.4. Métodos de análisis

- Características morfológicas por microscopía electrónica de barrido (SEM) (LIU *et al.*, 2018).
- Estabilidad térmica por termogravimetría (TGA) (SYAFRI *et al.*, 2019) con algunas modificaciones.
- Propiedades térmicas por calorimetría diferencial de barrido (DSC). Método modificado de MARTÍNEZ *et al.* (2015).
- Claridad (BELLO-PÉREZ *et al.*, 2002).
- Estabilidad al congelamiento (Sinéresis) (WATTANACHANT *et al.*, 2003).
- Solubilidad (EASTMAN Y MOORE, 1984) .
- La capacidad de retención de agua (CRA) (ASHRI *et al.*, 2014).

3.5. Metodología experimental

3.5.1. Preparación de la muestra de *Musa acuminata* AAA y AA

▪ Obtención de la harina

Los plátanos obtenidos del CIPTALD fueron lavados, pelados y cortados en rebanadas de aproximadamente 3 mm de espesor y se colocaron en una solución de ácido cítrico al 0,3 % (BELLO-PÉREZ *et al.*, 1999) por 15 minutos. Las rebanadas fueron escurridas y secadas con un paño para eliminar el exceso de la solución, luego se colocó en una estufa de secado a 40 °C durante 48 horas (LUCAS *et al.*, 2013). Después del secado, se sometió a trituración en un molino manual (HERNÁNDEZ *et al.*, 2017). El resultante se filtró a través de un tamiz de malla Tyler 80 (0,177 mm de abertura de poro), para finalmente obtener la harina de plátano que fue utilizada de muestra.

▪ Obtención del almidón

Los plátanos obtenidos del CIPTALD fueron lavados, pelados y cortados en rebanadas de aproximadamente 3 mm de espesor. A continuación, se preparó una solución de agua destilada adicionando bisulfito de sodio al 0,5 % (VALERIO-DÁVILA, 2014), luego se introdujeron las rodajas de plátano en la solución preparada en relación 1:1 (DUFOR *et al.*, 2008). Las rodajas junto a la solución se sometieron a un triturado húmedo utilizando una licuadora Osterizer de tres velocidades, a velocidad máxima, por dos minutos (FLORES-GOROSQUERA *et al.*, 2004), se homogenizó a 6000 rpm durante 1 min. Se filtró la pulpa a través de tamiz Tyler N° 80. La torta fue lavada con agua destilada, para obtener la suspensión. La sedimentación del almidón fue por un tiempo de

24 horas, se centrifugó a 2500 rpm, durante 12 minutos, con la finalidad de recuperar el almidón. Posteriormente, se secó en una estufa de convección a 55 °C, durante 24 horas, y se molió en un molino de cuchillas hasta obtener un polvo que pase por un tamiz Tyler número 80 y se almacenó en frascos de plástico con tapa rosca hasta el análisis.

3.5.2. Caracterización morfológica de la harina y almidón de plátano (*M. acuminata* AAA y AA)

El tamaño y forma de los gránulos de harina y almidón dependen de sus prácticas y lugares de cultivo e influyen en el resto de sus propiedades, el diámetro de los gránulos de almidón puede variar de 1 a 100 μm , dependiendo de la variedad o especie, por lo que se realizó la caracterización morfológica de los gránulos de almidón y harina de estudio mediante un microscopio electrónico de barrido (Phenom ProX). Se siguió la metodología propuesta por LIU *et al.* (2018). Para el análisis las muestras se colocaron en un talón de aluminio cubierta con cinta adhesiva de doble cara y se recubrieron con oro mediante pulverización al vacío utilizando un metalizador Leica EM ACE 200, por un tiempo de 5 minutos hasta lograr un espesor de 5 nm, con la finalidad de optimizar el contacto eléctrico y registrar mejor la señal del microscopio. El talón con las muestras salpicadas de oro se introdujo en la cámara del microscopio donde se realizó la lectura de las imágenes, utilizando un voltaje de aceleración de 20 kV. Se obtuvieron micrografías de 340x a 6000x las cuales se procesaron utilizando el software ImageJ para la determinación aproximada del tamaño de

las partículas, donde se obtuvo datos de rango y promedio de diámetro mayor y menor de los gránulos de las muestras.

- **Estadística**

Los resultados de la caracterización morfológica (promedio de diámetro mayor y menor) fueron analizados estadísticamente mediante el diseño completo al azar (DCA) a un nivel de significación de $P 0,05$; donde se tomaron como variables el diámetro mayor y menor de harina y almidón de *M. acuminata* AAA y AA. Para las muestras que presentaron diferencia estadística se utilizó la prueba de Tukey, empleando el Software SAS (Statistical Analysis System).

3.5.3. Determinación de las propiedades térmicas de la harina y almidón de plátano (*M. acuminata* AAA y AA)

- **Análisis termogravimétrico**

Se utilizó el método de SYAFRI *et al.* (2019). Las muestras de harina y almidón se analizaron sometiéndose a un programa de TGA/DTG en un Calorímetro Lasys evo Robot Setaram USA. Se pesó la muestra $6 \pm 0,5$ mg de harina y de almidón por separado, en un crisol de aluminio de 75 uL de capacidad y colocado en el equipo. Se programó en el calorímetro tres etapas de intercambio de calor, la primera fue de estabilización del equipo para ello se mantuvo la temperatura constante de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, la segunda etapa fue de calentamiento, que corrió entre $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$, a una velocidad de $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$; y la última fue de enfriamiento, comprendido entre $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, a una

velocidad de 20 °C.min⁻¹. Todo el proceso, de inicio a fin, se dio con un flujo de gas nitrógeno constante de 50 mL.min⁻¹.

- **Calorimetría diferencial de barrido**

Las propiedades de gelatinización se determinaron a través de la calorimetría diferencial de barrido (DSC), donde se colocó inicialmente 10 mg de muestra en un crisol de aluminio de 75 uL de capacidad y se adicionó agua destilada en relación 1:3 p.v⁻¹ (almidón/agua), se sellaron y se dejó reposar a temperatura de 24 ± 2 °C durante una hora. El equipo fue previamente calibrado con Indio y como referencia se utilizó un crisol vacío de la misma capacidad. Se programó el equipo a una velocidad de calentamiento de 5 °C.min⁻¹ desde 30 °C a 110 °C, en una atmosfera de nitrógeno a 30 mL.min⁻¹. Se realizó el control de la temperatura inicial (T₀), temperatura pico (T_P), temperatura final (T_F) y la entalpia de gelatinización (ΔH), los datos se obtuvieron de los diagramas termo analíticos resultantes (MARTÍNEZ *et al.*, 2015).

- **Análisis estadístico**

Los resultados de la calorimetría diferencial de barrido (temperatura inicial (T₀), temperatura pico (T_P), temperatura final (T_F), la entalpia de gelatinización (ΔH) y celeridad (%.min⁻¹)) fueron analizados estadísticamente mediante el diseño completo al azar (DCA) a un nivel de significación de P 0,05, para las muestras que presentaron diferencia estadística se utilizó la prueba de Tukey, empleando el Software SAS (Statistical Analysis System).

3.5.4. Propiedades funcionales tecnológicas del almidón de plátano (*M. acuminata* AAA y AA)

▪ Claridad:

Se utilizó la metodología propuesta BELLO-PÉREZ *et al.* (2002). Se pesó aproximadamente 0,2 g de almidón de guayabo y moquicho de manera separada; se colocó en tubos de ensayo de 10 mL con tapa adicionando 5 mL agua destilada, a continuación, se calentó las suspensiones en un baño de agua a 95 °C por 30 minutos, agitándolos manualmente cada 5 minutos hasta formar el gel. Luego, los tubos se enfriaron hasta 26 °C, colocándolos en una congeladora. Los geles se transfirieron a celdas de 1 cm para obtener el porcentaje de transmitancia (% T) a 650 nm haciendo las lecturas en un espectrofotómetro, previamente ajustado a cero con agua destilada. Este proceso se realizó a 4 °C y a temperatura ambiente (26 ± 2 °C) y las lecturas fueron a 0, 24, 48 y 72 horas. Todas las muestras fueron trabajadas por triplicado.

▪ Estabilidad a la congelación-descongelación (sinéresis):

La medición de la estabilidad de congelación-descongelación (sinéresis) se realizó mediante la metodología de WATTANACHANT *et al.* (2003). Se pesó aproximadamente 2 g de almidón de cada variedad, se adicionó 18 mL de agua destilada (5 % p/v), en matraces de vidrio. La solución se colocó en un baño de agua y se calentó a 95 °C durante 30 minutos con agitación constante, luego se enfrió rápidamente en un congelador hasta temperatura ambiente (26 ± 2 °C). Después se pesó 2 g de cada pasta y se colocó en tubos de centrifuga de 3 mL y se almacenó a 4 °C por 24 h, luego se trasladó a un ultracongelado a -20 °C

por 48 h. El almidón congelado se descongeló a temperatura ambiente durante 3 horas y se centrifugó a 4590 rpm por 15 minutos. Finalmente, se pesó el agua separada y se calculó la sinéresis usando la siguiente ecuación

$$\% \text{ Sinéresis} = \frac{\text{Peso agua separada}}{\text{Peso pasta de almidón}} \times 100$$

- **Solubilidad en agua fría**

Se realizó por el método de EASTMAN Y MOORE (1984). Se pesaron aproximadamente 0,12 g de almidón, por triplicado para cada muestra, se agregó 1,5 g de agua destilada en un tubo de ensayo con tapa, se sometieron a un agitador ultrasónico durante 1 minuto a temperatura ambiente (26 ± 2 °C), luego los tubos con la suspensión fueron centrifugados a 3500 rpm durante 15 min. Previamente se secaron las placas y pesaron. El sobrenadante se vertió en la placa y se secó a 105 °C por 4 h, se registró el peso de los sólidos disueltos. La solubilidad en agua fría se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Solubilidad en agua fría} = \frac{\text{Peso de los sólidos en el sobrenadante (g)}}{\text{Peso muestra (g)}} \times 100$$

- **La capacidad de retención de agua (CRA)**

Esta propiedad se determinó por el método de ASHRI *et al.* (2014) con leves modificaciones. Se pesó aproximadamente 0,1 g de almidón seco de ambas variedades y por triplicado, se colocó en un tubo de centrifuga donde se adicionó 1,5 mL de agua destilada para ser agitado usando un vortex durante 30 minutos. Luego se centrifugo a 3000 rpm por 10 min. Se eliminó el sobrenadante y se escurrió el agua del almidón húmedo colocando el tubo en un ángulo de

inclinación de 45 ° boca abajo durante 10 minutos, para finalmente ser pesado.

El porcentaje de agua retenida se calculó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ CRA} = \frac{\text{Almidón húmedo (g)}}{\text{Almidón seco (g)}} \times 100$$

▪ **Análisis estadístico**

Los resultados de claridad (% transmitancia de almidón de *M. acuminata* AAA y AA a 4 °C y 26 °C) fueron analizados estadísticamente mediante un diseño completo al azar simple (DCA) considerando a las variedades a ambas temperaturas como tratamientos con tres repeticiones, empleando el Software InfoStat.

Los resultados de estabilidad a la congelación-descongelación (sinéresis), solubilidad en agua fría y capacidad de retención de agua fueron analizados estadísticamente mediante la prueba t de Student para comparación de medias pareadas, para ello se empleó el Software InfoStat.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características morfológicas de la harina y almidón de plátano de plátano (*M. acuminata* AAA y AA)

La caracterización morfológica de harina y almidón de plátano (Cuadro 1) demostró diferencia estadística significativa según Tukey ($p > 0,05$) entre las variedades, el diámetro mayor de los gránulos de almidón de guayabo estuvo comprendido entre 13,35 y 63,75 μm , con un promedio de 33,68 micrómetros, similar a su harina (14,91 y 63,75 μm , con un promedio de 35 micrómetros) (Anexo-la). El mismo patrón se repite para el diámetro menor del almidón de guayabo en promedio de 20,79 μm (oscilando ente 9,29 y 41,48) y los de su harina en promedio de 22,60 μm (entre 18,77 y 0,76 μm) (Anexo-lb). Sin embargo, para el caso de la variedad moquicho se encontró diferencia significativa según Tukey ($p > 0,05$) entre el almidón y harina, el diámetro mayor para el almidón estuvo entre 12,96 y 33,14 μm con una media de 22,61 μm , y en la harina osciló entre 18,56 y 44,47 μm con una media de 28,57 μm . Asimismo, similar escenario fue para el diámetro menor el cual se encontró entre 8,52 y 23,53 μm con media de 15,5 para el almidón de moquicho y entre 7,97 y 30,71 μm con media de 18,77 μm para la harina. De los resultados con respecto al tamaño, estos coincidieron con los rangos reportados por FONTES *et al.* (2017) 10 a 100 micrómetros variedad mysore y GILBERT *et al.* (2014) 6 μm a 80 μm en almidones de distintas variedades de plátano, por otro lado fueron mayores a

los reportados por MONTOYA *et al.* (2014) con un largo de 6 μm hasta 53 μm y en diámetro de 7 μm hasta 35 μm en almidón de plátano dominico hartón, y MONTOYA-LOPEZ *et al.* (2015) con longitudes ecuatoriales entre 29,3 μm y 48,53 μm y transversales desde 16,6 μm hasta 40,55 μm en almidón de gross michel.

Respecto a las formas el almidón y harina de ambas variedades fueron similares, ovoides o elipsoides alargadas (Figura 2 y 3). Los gránulos de almidón guayabo mostraron formas ovaladas, largas con superficies suaves, lisas y compactas (Figura 2a.), mientras que los gránulos de moquicho, formas ovaladas, no tan alargadas y en su superficie presento ligeras grietas (Figura 2b.).

Cuadro 1. Caracterización morfológica de harina y almidón de plátano

| Distribución del tamaño de los gránulos | Almidón | | Harina | |
|--|--------------------------------|--------------------------------|---|-------------------------------|
| | Guayabo | Moquicho | Guayabo | Moquicho |
| Forma | Ovalados de forma alargada | Ovalados menos alargado | Ovoides alargadas y figuras irregulares | Ovalados poco alargados |
| Textura | Suaves, lisas | Compactos un poco cuarteado | Óvalos compactos cuarteados y figuras irregulares | Compactos, lisos y suaves |
| Rango Ø mayor (μm) | 13,35 - 67,37 | 12,96 - 33,14 | 14,91 - 63,75 | 18,56 - 44,47 |
| Promedio (μm) | 33,68 \pm 1,58 ^a | 22,61 \pm 0,67 ^c | 35,00 \pm 1,5 ^a | 28,57 \pm 0,78 ^b |
| Rango Ø menor (μm) | 9,29 - 41,48 | 8,52 - 23,53 | 9,00 - 43,32 | 7,97 - 30,71 |
| Promedio (μm) | 20,79 \pm 0,87 ^{ab} | 15,5 \pm 0,54 ^c | 22,60 \pm 1,02 ^a | 18,77 \pm 0,76 ^b |

Los valores representan promedio \pm SEM, datos provenientes de las observaciones (n=56). Promedios de una misma fila con superíndices común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$). Ø=Diámetro.

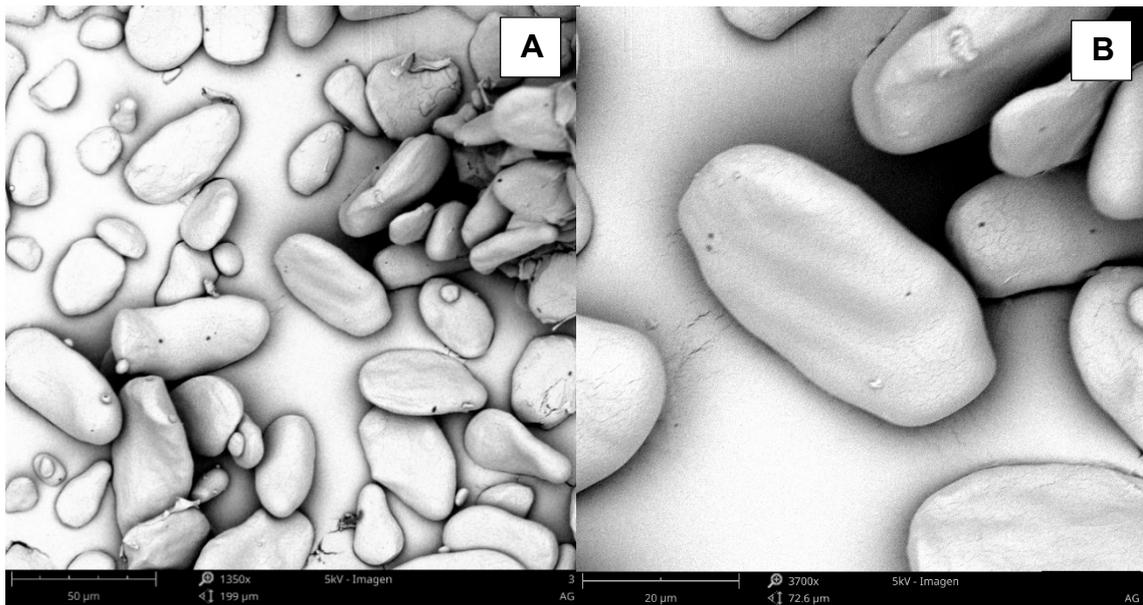


Figura 2a. Micrograffías a 1350X (A) y 3700X (B) de almidón de plátano guayabo.

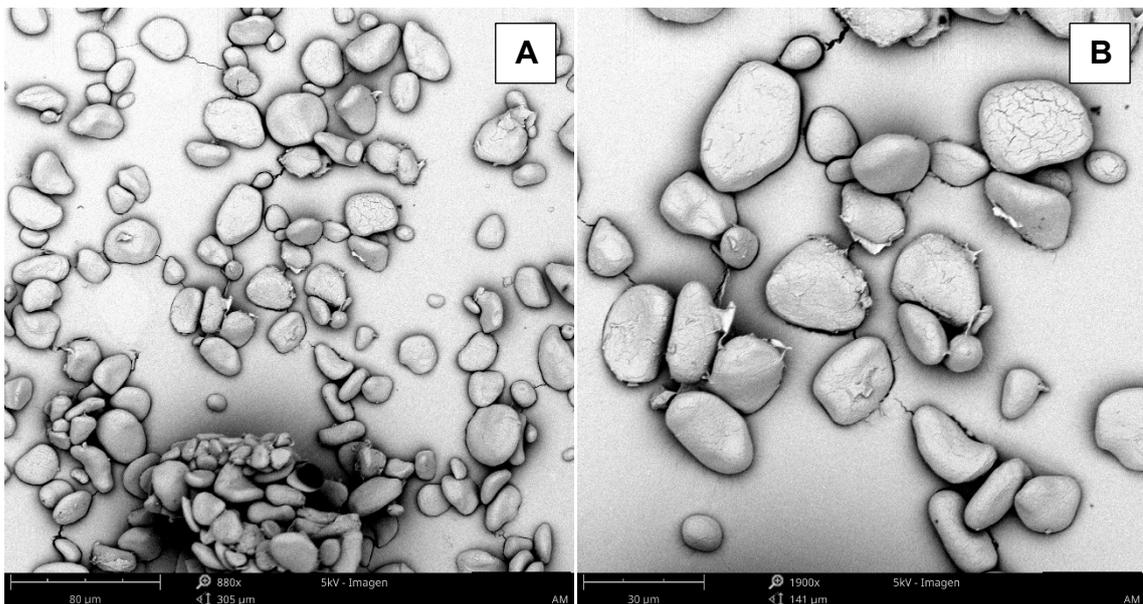


Figura 2b. Micrograffías a 880X (A) y 1900X (B) de almidón de plátano moquicho.

En el caso de las harinas presentaron además de los elipsoides, acompañamiento de figuras irregulares amorfas y rugosas (Figura 3a. y 3b.), esto

puede ser explicado por BI *et al.* (2017) quienes mencionan que en las harinas se observa componentes distintos a los almidones, y PELISSARI *et al.* (2012) describen estos componentes como proteínas, grasas, minerales o incluso fibra. La forma de los gránulos en las harinas coincide con CAHYANA *et al.* (2019) quienes reportaron una forma ovalada larga y compacta en gránulos de harina de *Musa acuminata* Colla.

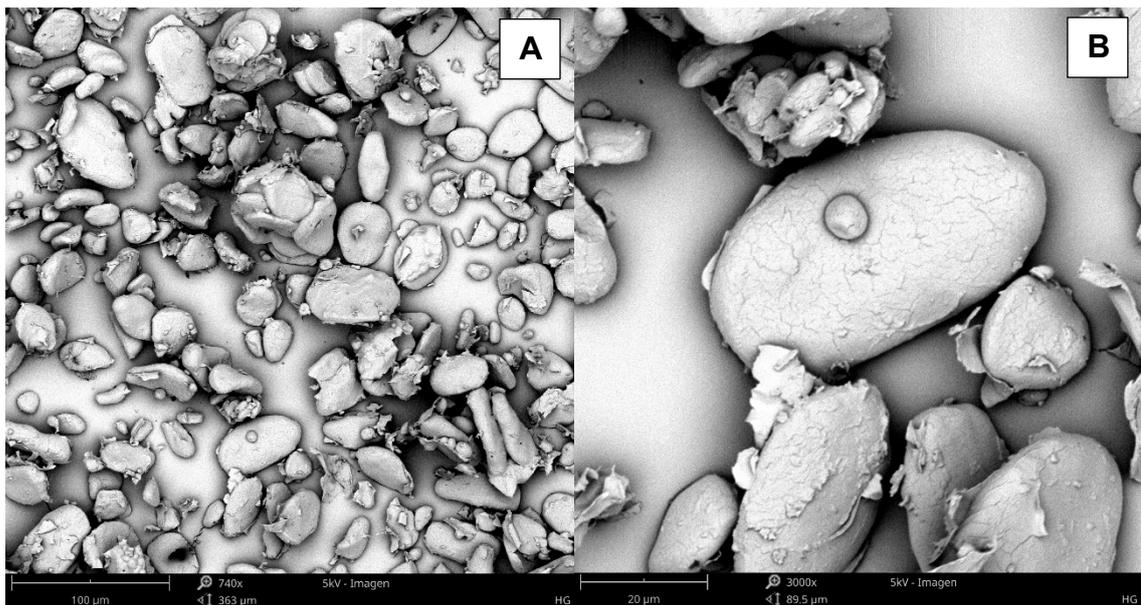


Figura 3a. Micrografías a 740X (A) y 3000X (B) de harina de plátano guayabo.

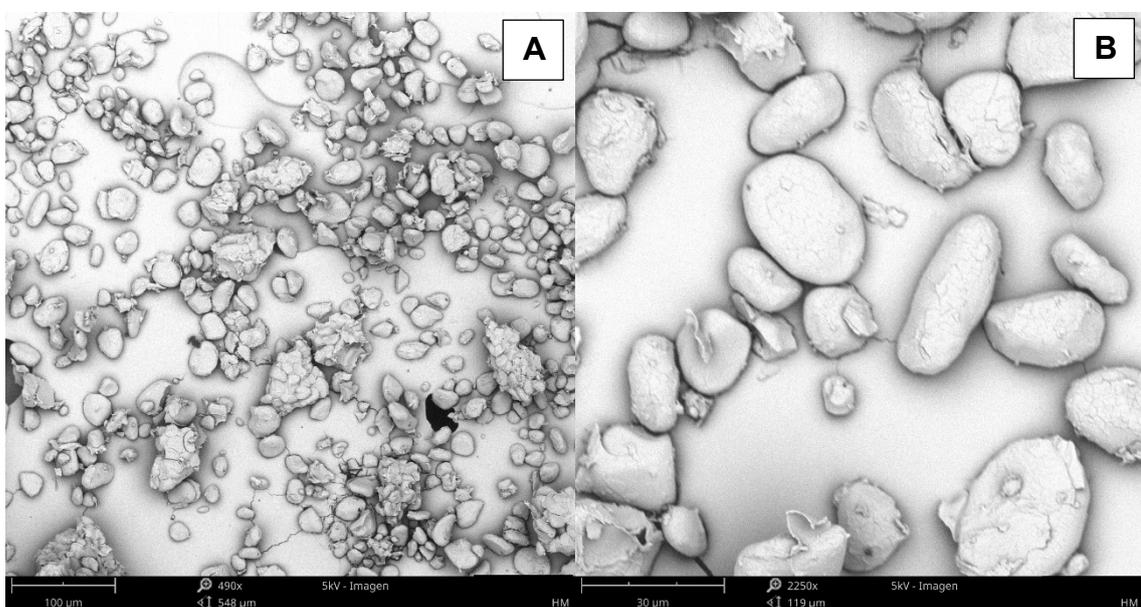


Figura 3b. Micrografías a 490X (A) y 2250X (B) de almidón de plátano moquiño.

Según los resultados respecto a las formas encontradas en las imágenes de los almidones elipsoides compactos y lisos, MARTA *et al.* (2019) encontró características similares del almidón guayabo en almidón de plátano kapas y al almidón moquicho en almidón de ambon y kepok. FONTES *et al.* (2017) también encontró formas de perlas predominantemente elipsoidales en los gránulos de almidón de plátano variedad mysore. Con respecto a la estructura lisa, SURENDRA *et al.* (2018) y QUINTERO-CASTAÑO *et al.* (2020) mencionan que son un indicador de que el proceso de aislamiento del almidón fue el adecuado y no causó daño significativo a la estructura del almidón. La forma de ambos almidones coincide con FIDA *et al.* (2020), quienes afirman que el almidón de plátano posee una forma irregular ovalada y alargada, cuando se observa al microscopio y QUINTERO-CASTAÑO *et al.* (2020), quienes reportaron formas ovaladas y redondas en gránulos de almidón de plátano gross michel, asimismo con formas esferoidales alargadas reportadas por DE BARROS *et al.* (2016) y KONGOLO *et al.* (2017).

Las variaciones en la forma y tamaño de los gránulos, por más mínimas que fueran se podría deber a la variedad y fuente botánica (GILBERT *et al.*, 2014 y FIDA *et al.*, 2020), asimismo como a la bioquímica del amiloplasto y la fisiología de la planta (CEDEÑO *et al.*, 2021). Según AI (2013), las variaciones morfométricas entre los almidones pueden afectar su biodisponibilidad, debido a que el tamaño de los gránulos de los mismos puede afectar su tasa de hidrólisis enzimática.

4.2. Determinación de las propiedades térmicas de la harina y almidón de plátano (*M. acuminata* AAA y AA)

4.2.1. Análisis termogravimétrico

La termogravimetría ha sido definida por ICTAC (Confederación Internacional para el Análisis Térmico y Calorimetría) como una técnica en la que se mide el cambio de masa de una sustancia en función de la temperatura sometiéndola a temperatura controlada, así también, CASTAÑEDA *et al.* (2021) mencionan que es posible reportar la temperatura de degradación térmica. En el Cuadro 2 se aprecia la cantidad de pérdida de peso de las muestras en porcentaje y la temperatura aproximada a la que ésta fue registrada, así como la celeridad a la que sucedieron estos eventos. Según el cuadro mencionado se aprecian tres zonas diferenciadas de degradación donde se reportó las pérdidas de peso más significativas. En la primera zona, para el caso de las harinas se encontró valores muy similares, el moquicho presentó una pérdida de 8,41 % de masa, ocurrida desde los 28,85 °C hasta 145,91 °C, y el guayabo tuvo una pérdida inicial de masa de 9,96 %, ocurrida desde 27,31 °C hasta 146,92 °C. Los datos de degradación obtenidos en las harinas fueron similares con los reportados por LUCAS *et al.* (2013) en harina de plátano guineo (8,62 %); al mismo tiempo son ligeramente superiores a los reportados por MONTOYA-LÓPEZ *et al.* (2015) en harina de banano gross michel (7,96 %) y CORREA (2019) en harina de plátano verde dominico (7 %). FLORES (2018) en plátano verde tipo Hartón, obtuvo 12,04 %, valor superior al encontrado en la investigación, lo cual podría deberse al método diferido de obtención de la harina.

Cuadro 2. Resultados TGA y DTG de harina y almidón de plátano

| Muestra | Zonas | Rango de Temperatura | | ΔT (°C) | T_{max} (°C) | Celeridad (%.min ⁻¹) | Δm (%) |
|---------------------|-------------|----------------------|------------|--------------------|----------------|-------------------------------------|----------------|
| | | T_i (°C) | T_f (°C) | | | | |
| Harina de moquicho | Zona 1 | 28,85 | 145,91 | 117,06 | 80,13 | 1,29 | 8,41 |
| | Estabilidad | 145,91 | 228,32 | 82,41 | - | - | 1,80 |
| | Zona 2 | 228,32 | 384,65 | 156,33 | 298,66 | 11,99 | 61,59 |
| | Zona 3 | 384,65 | 548,94 | 164,29 | - | - | 7,88 |
| | Residuo | - | - | - | - | - | 20,32 |
| Harina de guayabo | Zona 1 | 27,31 | 146,92 | 119,61 | 80,61 | 1,54 | 9,96 |
| | Estabilidad | 146,92 | 230,81 | 83,89 | - | - | 1,98 |
| | Zona 2 | 230,81 | 385,45 | 154,64 | 296,61 | 11,47 | 58,86 |
| | Zona 3 | 385,45 | 556,34 | 170,89 | - | - | 7,86 |
| | Residuo | - | - | - | - | - | 21,34 |
| Almidón de moquicho | Zona 1 | 27,39 | 143,84 | 116,45 | 82,76 | 1,59 | 9,06 |
| | Estabilidad | 143,84 | 261,64 | 117,8 | - | - | 1,14 |
| | Zona 2 | 261,64 | 359,1 | 97,46 | 318,45 | 22,60 | 70,66 |
| | Zona 3 | 359,1 | 549,95 | 190,85 | - | - | 10,71 |
| | Residuo | - | - | - | - | - | 8,44 |
| Almidón de guayabo | Zona 1 | 29,93 | 140,91 | 110,98 | 78,68 | 1,89 | 11,66 |
| | Estabilidad | 140,91 | 258,96 | 118,05 | - | - | 1,54 |
| | Zona 2 | 258,96 | 362,67 | 103,71 | 318,8 | 17,13 | 64,32 |
| | Zona 3 | 362,67 | 555,95 | 193,28 | - | - | 9,61 |
| | Residuo | - | - | - | - | - | 12,88 |

T_i = Temperatura de inicio, T_f = Temperatura Final, ΔT = Diferencial de Temperatura, T_{max} = Temperatura máxima de degradación, Δm = Variación de masa.

En el caso de los almidones, el moquicho presentó una pérdida de 9,06 % de masa, comprendida entre 27,39 °C hasta 143,84 °C y el guayabo, de 11,66 %, ocurrida entre los 29,93 °C hasta 140,91 °C. La pérdida de masa de ambos almidones fue similar a la citada por NASRIM *et al.* (2014) en plátano namwa en Tailandia, mientras que CORDEIRO *et al.* (2018) reportaron una humedad levemente mayor en almidón de *Musa paradisiaca* L. (14,46 %) superior a los reportado por LUCAS-AGUIRRE *et al.* (2014) 5,76 % en almidón plátano guayabo. Según el análisis termogravimétrico de los almidones se apreció la temperatura pico para el moquicho (82,76 °C) levemente mayor comparado al guayabo (78,68 °C); siendo que el almidón de guayabo fue el que sufrió una mayor descomposición, lo que podría interpretarse en una mayor humedad de esta variedad, aun habiendo sido tratados bajo las mismas condiciones, al respecto, LUCAS-AGUIRRE *et al.* (2016), en un estudio de 30 variedades de musáceas distintas, reportaron humedades desde 8,26 % hasta 11,23 %, la diferencia de propiedades entre variedades de una misma especie se puede atribuir al lugar de cultivo de donde se obtuvo la muestra (HUNG *et al.*, 2013), por otro lado ROSALES-REYNOSO *et al.* (2014) manifiestan que la diferencia podría estar relacionada con la variedad usada para el aislamiento del almidón, y MONTROYA (2020) explica que la técnica utilizada para la extracción del almidón probablemente afecta su composición final. Comportamiento similar lo reportaron LUCAS *et al.* (2013) quienes encontraron valores mayores de temperatura pico y degradación para la zona 1 en plátano guineo (248,63 °C y 12,99 %). La diferencia encontrada puede ser explicada por LIU *et al.* (2008), quien asocia el porcentaje de degradación en esta zona con el contenido de

humedad de la muestra manifestando que la temperatura de fase de deshidratación en esta zona es más alta conforme el contenido de humedad sea mayor, por otro lado, CASTAÑO-CARVAJAL *et al.* (2019) afirman que en la zona 1 se reportan las áreas de componentes altamente volátil, generalmente observado a menos de 200 °C.

En la segunda zona se registraron los mayores valores de degradación; para la harina de moquicho de 61,59 % (entre los 228,32 °C y 384,65 °C), con un pico máximo de temperatura en 298,66 °C; y para la harina de guayabo de 58,86 % (entre los 230,81 °C y 385,45 °C), con pico máximo de en 296,61 °C. Al respecto LUCAS *et al.* (2014) reportaron una degradación en harina en plátano gross michel de 56,43 % y LUCAS *et al.* (2013) en harina de plátano ginneo reportaron 55,85 %. Estos datos pueden darnos una visión cualitativa de la composición química de la muestra de harina de ambos plátanos, pues se asocia este porcentaje a la descomposición de los carbohidratos y péptidos de bajo peso molecular (TIAN *et al.*, 2011), asimismo lo relacionan a la descomposición pirolítica de la amilosa y amilopectina, coincidiendo con LUCAS *et al.* (2014) quienes mencionan que cuanto mayor sea el porcentaje de degradación en esta zona, refiere una mayor cantidad de almidones totales contenidos en la muestra de harina. La pérdida de masa en esta zona para las harinas se presenta como una curva de descomposición simple o de un solo paso como se observa en la Figuras 4 y Figura 5, coincidiendo con lo reportado por ÁLZATE CARVAJAL *et al.* (2013), LUCAS *et al.* (2014) y MONTOYA *et al.* (2014), donde la línea negra representa los diagramas termo analíticos de pérdida de peso (TGA) y la línea morada

representa los diagramas termo analíticos de la derivada de pérdida de peso (DTG).

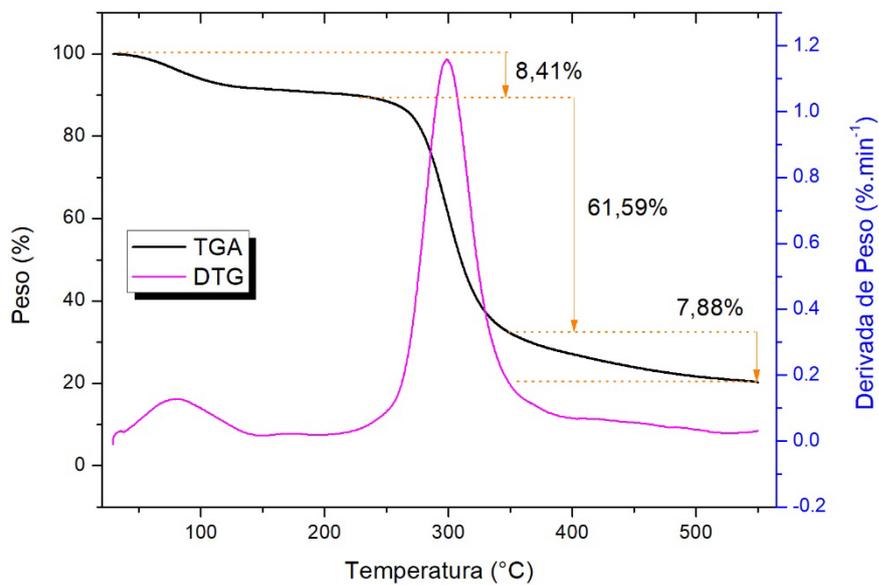


Figura 4. Diagrama termo analítico (TGA y DTG) de harina de plátano moquicho.

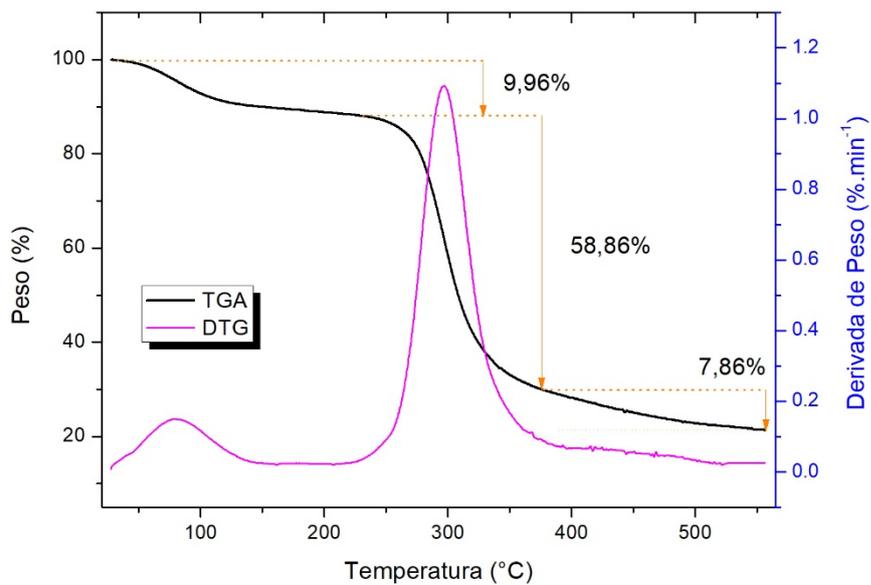


Figura 5. Diagrama termo analítico (TGA y DTG) de harina de plátano guayabo.

El almidón de moquicho tuvo una degradación de 70,66 % entre los 261,64 °C y 359,1 °C, con temperatura máxima en 318,45 °C, mayor a la del almidón de guayabo, que presentó una disminución de masa de 64,32 % entre los 258,96 °C y 362,67 °C, con temperatura pico en 318,8 °C. El comportamiento encontrado para el almidón de moquicho fue similar al encontrado por LUCAS *et al.* (2014) y LUCAS *et al.* (2013) cuyos porcentajes de degradación fueron en almidón de plátano gross michel 71,97 % y almidón de plátano ginneo 74,15 %, respectivamente. Asimismo, la descomposición del almidón de guayabo fue similar a la reportada por CASTAÑO-CARVAJAL *et al.* (2019), quienes encontraron valores de 61,29 % en almidón de plátano dominico hartón.

Las curvas del análisis DTG o derivada de pérdida de peso (líneas moradas) identificaron claramente los picos máximos de degradación en los almidones (Figura 6 y Figura 7), los cuales fueron de forma angosta y alargada, al respecto, LUCAS *et al.* (2013) manifiestan que un pico más largo y delgado, representa una rápida degradación de la amilosa; y que uno ancho y más corto muestra la degradación de la amilopectina, es decir que el grafico se puede interpretar cualitativamente como una mayor presencia de amilosa. Asimismo, LIU *et al.* (2008) mencionan que en estas etapas sucede el rompimiento de los enlaces C-C-H, C-O y C-C, que es donde ocurre la reacción de combustión H₂O, CO y CO₂.

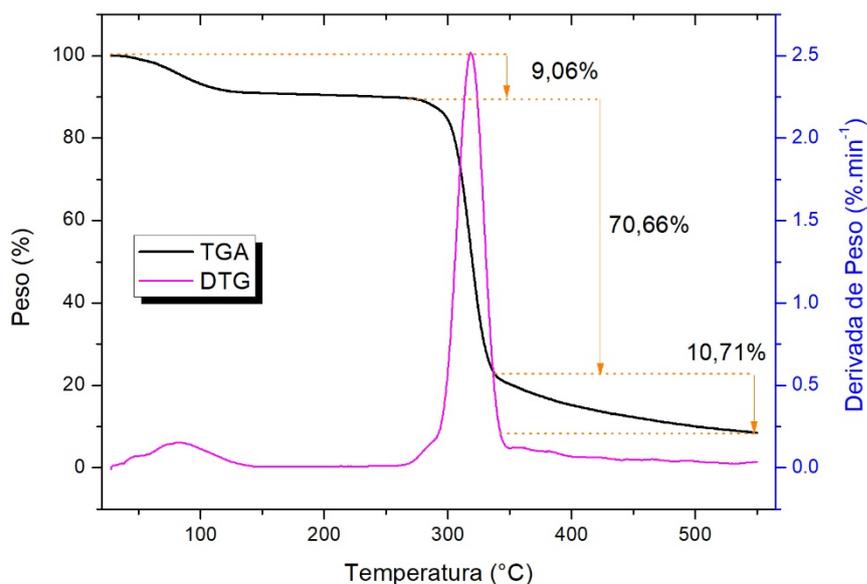


Figura 6. Diagrama termo analítico (TGA y DTGA) de almidón de plátano moquiño.

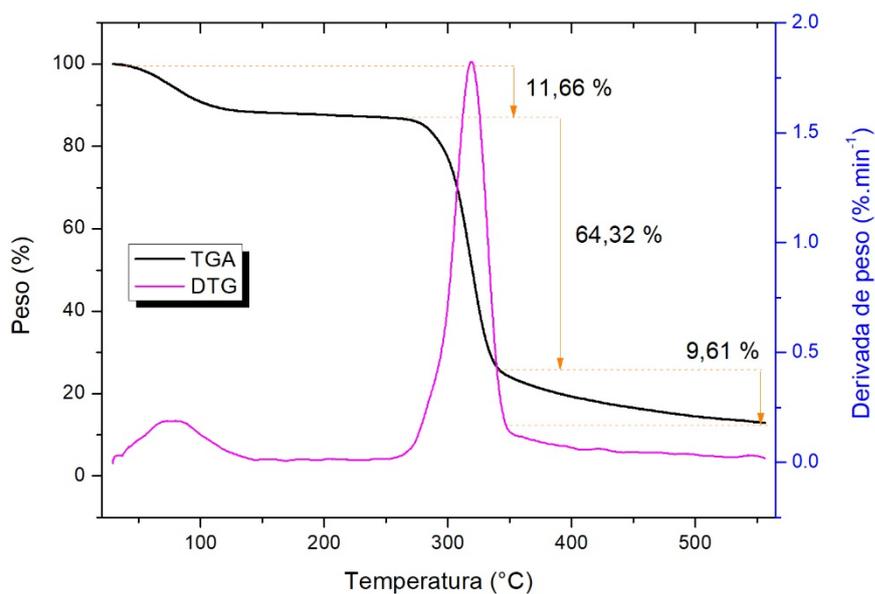


Figura 7. Diagrama termo analítico (TGA y DTGA) de almidón de plátano guayabo.

Con respecto a los resultados de la tercera zona (Cuadro 2), podemos indicar entre la harina de moquiño y guayabo tuvieron una degradación de 7,88 % y 7,86 %, así como un residuo de 20,32 % y 21,34 %

respectivamente. Comparando al almidón fueron 10,71 % y 9,61 % y un residuo de 8,44 % y 12,88 % para moquicho y guayabo. Cabe resaltar que la degradación en esta zona suele ser asociada a los componentes de alto peso molecular y el residuo a compuestos inorgánicos como los minerales o cenizas, resaltando que, en el caso del almidón, un menor porcentaje de cenizas refleja una mayor calidad de extracción (FONTES *et al.* 2017). Con respecto a las harinas LUCAS *et al.* (2013) y MONTOYA-LÓPEZ *et al.* (2015) encontraron valores de degradación en la tercera zona de 30,81 % y 32,18 % respectivamente; superior a los resultados mencionados; asimismo los valores de residuo fueron 4,72 % y 3,43 %. Esto podría deberse a la diferencia del método aplicado para la obtención de las curvas TGA, puesto que en la investigación se trabajó hasta 550 °C y los autores mencionados trabajaron hasta los 800 °C. Por otro lado, CUEVAS (2017) reportó valores menores en el residuo de almidón de maíz (11 %).

La celeridad de la degradación máxima de la harina de moquicho se registró en 11,99 $\% \cdot \text{min}^{-1}$ y la de su almidón fue en 22,6 $\% \cdot \text{min}^{-1}$, asimismo la celeridad de degradación máxima de la harina de guayabo fue 11,47 $\% \cdot \text{min}^{-1}$ y del almidón registró un valor de 17,13 $\% \cdot \text{min}^{-1}$; estos valores fueron mayores a las presentados por MONTOYA-LÓPEZ *et al.* (2015) en harina y almidón de banano gross michel (5,4 $\% \cdot \text{min}^{-1}$ y 11 $\% \cdot \text{min}^{-1}$, respectivamente) y por MONTOYA *et al.* (2014) en harina y almidón de plátano dominico hartón (5,5 $\% \cdot \text{min}^{-1}$ y 8,2 $\% \cdot \text{min}^{-1}$, respectivamente), sin embargo las proporciones de celeridad harina-almidón, es decir, que la harina se descompone más lento con respecto a su almidón, coincide con lo mencionado por los autores anteriores,

quienes atribuyen este efecto a que la harina contiene más cantidad de componentes de bajo peso molecular, distinto al almidón.

Los resultados termogravimétricos indican que las harinas de plátano moquicho y guayabo son térmicamente estables a temperaturas menores a 228,32 °C y 230,81 °C, respectivamente, mientras que los almidones de estas mismas lo son a temperaturas inferiores a 261,64 °C y 258,96 °C, que es donde inician los eventos de degradación térmica para cada caso, siendo los almidones, al perder los componentes de alto peso molecular que los diferencian de las harinas, más estables a temperaturas más altas.

4.2.2. Calorimetría diferencial de barrido

Las transiciones que acontecen en el calentamiento de las suspensiones acuosas de almidón han sido investigadas ampliamente por medio de la Calorimetría Diferencial de Barrido o DSC (MARTÍNEZ *et al.*, 2015). En el Cuadro 3 se presentan los datos de las propiedades térmicas obtenidos por medio del análisis DSC, en la cual se encuentran las temperaturas transición: De inicio (T_0) (el punto de partida de gelatinización del almidón), temperatura pico (T_P) (punto donde ocurre una pérdida completa de la cristalinidad), temperatura final (T_F) (la temperatura requerida para completar la gelatinización) y la entalpia de gelatinización (ΔH_{GEL}) (THANYAPANICH *et al.*, 2021).

La temperatura de inicio (T_0) evidencia el comienzo del proceso de gelatinización, donde ocurre el cambio de una forma semicristalina (no digerible), a una forma amorfa (digerible), según los resultados (Cuadro 3) se puede apreciar una diferencia estadística altamente significativa ($p > 0,05$) (Anexo-IIa)

mediante la prueba de Tukey la harina y el almidón de guayabo fueron diferentes a la harina y almidón de moquicho. La mayor temperatura de inicio sucedió en la harina de guayabo ($69,83 \pm 0,46$ °C) y la menor en el almidón de moquicho ($67,35 \pm 0,48$ °C). Con respecto a la mayor temperatura de inicio, los resultados concuerdan con lo reportado por MONTOYA *et al.* (2014) en harina de plátano dominico hartón (69,9 °C), pero los resultados difieren con LUCAS *et al.* (2014) en harina de plátano gros michel (60,16 °C), LUCAS *et al.* (2013) en harina de plátano guineo (58,8 °C) y LUCAS-AGUIRRE *et al.* (2016) al estudiar 30 distintas variedades de plátano tuvo la T_0 más baja en harina de guayabo (56,9 °C); la desigualdad posiblemente se explica en la divergencia del lugar de cultivo de donde se obtuvo la muestra (HUNG *et al.*, 2013) o en el método de obtención de la harina y el almidón (MONTOYA, 2020). Para el caso de los almidones en las variedades estudiadas fue mayor en el guayabo ($69,83 \pm 0,46$ °C) que el moquicho ($67,35 \pm 0,48$); según THANYAPANICH *et al.* (2021) encontraron una temperatura de inicio mayor en almidón de plátano hom khieo (74,52 °C) y de plátano namwa (73,64 °C), valores menores a la investigación fueron reportados por KHOOZANI *et al.* (2019) 64,18 °C en almidón de plátano cavendish, HOYOS (2015) 60,2 °C en almidón de plátano morado, MONTOYA *et al.* (2014) 54,74 °C en almidón de plátano dominico hartón y LUCAS *et al.* (2014) 33,59 °C en almidón de plátano gross michel y LUCAS *et al.* (2013) 45,53 °C en almidón de plátano guineo (58,8 °C). La divergencia de las temperaturas de inicio citadas en esta investigación puede aducirse a la fuente de almidón (variedad) (REDDY *et al.*, 2015).

Cuadro 3. Propiedades de gelatinización obtenidos mediante DSC

| Muestra | T ₀ (°C) | T _P (°C) | T _F (°C) | ΔH _{GEL} (J.g ⁻¹) | R |
|---------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|--|---------------------------|
| Harina de moquicho | 67,79 ± 0,27 ^b | 71,78 ± 0,1 ^b | 76,60 ± 0,06 ^b | 1,65 ± 0,08 ^c | 8,8 ± 0,29 ^b |
| Harina de guayabo | 69,83 ± 0,46 ^a | 74,55 ± 0,13 ^a | 80,89 ± 0,8 ^a | 2,12 ± 0,02 ^{ab} | 11,06 ± 0,62 ^a |
| Almidón de moquicho | 67,35 ± 0,48 ^b | 71,19 ± 0,28 ^b | 76,34 ± 0,31 ^b | 1,95 ± 0,13 ^{bc} | 8,99 ± 0,29 ^b |
| Almidón de guayabo | 68,33 ± 0,22 ^{ab} | 74,21 ± 0,15 ^a | 79,71 ± 0,42 ^a | 2,47 ± 0,12 ^a | 11,37 ± 0,45 ^a |

Los valores representan (promedio ± SEM) datos provenientes del experimento (n=3), valores de una misma columna con superíndices común no son significativamente diferentes (p≤0,05). T₀ = Temperatura de inicio, T_P = Temperatura Pico, T_F = Temperatura Final, ΔH_{GEL} = Entalpia de gelatinización, R=T_f-T₀.

Asimismo, los mayores valores de temperatura inicial encontrados en las harinas con respecto a los almidones obedecen a la premisa mencionada en las harinas con respecto a los almidones obedecen a la premisa mencionada por **LUCAS *et al.* (2013)**, quienes afirman que las harinas poseen una T_0 mayor a la de los almidones debido a la presencia en la primera de componentes distintos tales como lípidos, proteínas y minerales.

Según el Cuadro 3 y la Figura 8 se evidencia un leve pico al inicio del evento endotérmico sobre la línea base del diagrama termo analítico DSC; esto es muy importante resaltar porque según la perspectiva de **MONTOYA *et al.* (2020)** cuando el almidón es hidratado y calentado, presenta cambios químicos, de textura y estructura, los cuales influyen de manera considerable en la calidad del producto final cuando este es incorporado.

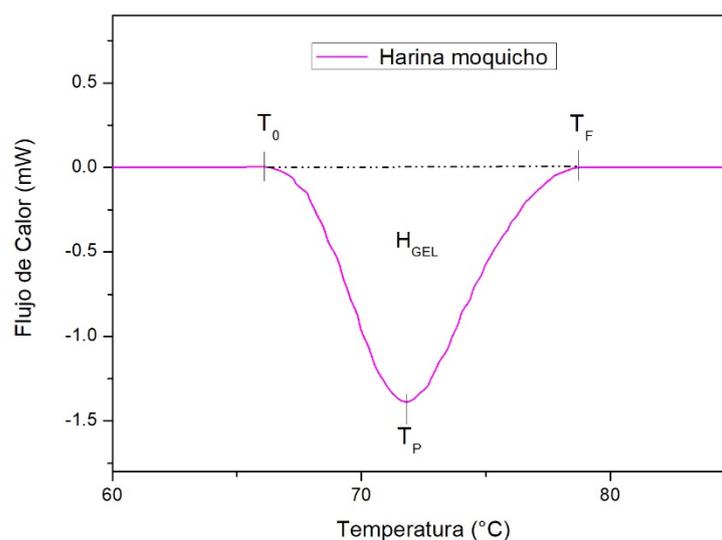


Figura 8. Análisis termogravimétrico (DSC) de harina de plátano moquicho

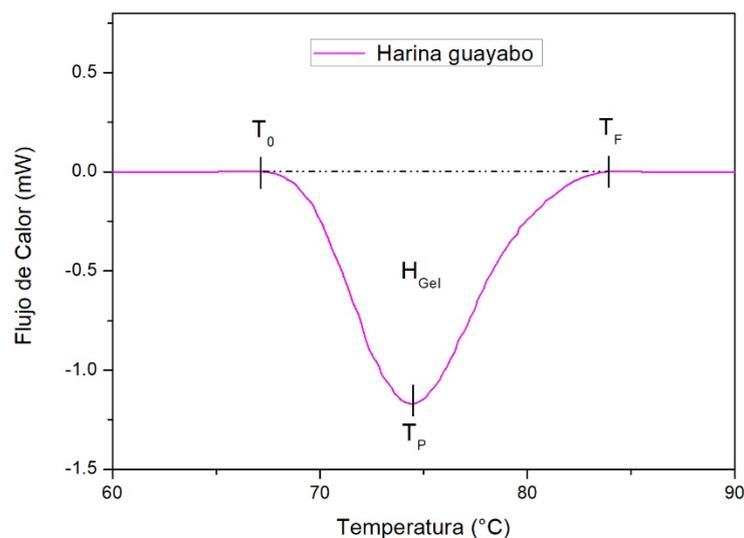


Figura 9. Análisis termogravimétrico (DSC) de harina de plátano guayabo

La temperatura pico de gelatinización (T_P) es el punto donde se reportan los valores más altos de absorción de calor (LUCAS-AGUIRRE *et al.*, 2016), aquí sucede el colapso de la estructura cristalina de los gránulos de almidón (MARTÍNEZ *et al.*, 2015) y su ruptura causa que la muestra comience a pasar a un estado gomoso (MONTOYA *et al.*, 2014). En el Cuadro 3 se presenta el resultado del T_P de las muestras estudiadas, también se aprecia diferencia estadística significativa según Tukey ($p > 0,05$) (Anexo-IIb), se encontró que el T_P de las muestras de harina y almidón de guayabo fueron similares, pero diferentes a la variedad de moquicho. Los mayores T_P se presentaron en la harina y almidón de guayabo ($74,55 \pm 0,46$ °C y $74,21 \pm 0,15$ °C), mientras que las menores fueron para la harina y almidón de moquicho ($71,78 \pm 0,1$ °C y $71,19 \pm 0,28$ °C). El resultado reportado fue superior a los citados por LUCAS-AGUIRRE *et al.* (2016) T_P de 62,0 °C en harina de plátano guayabo, LUCAS *et al.* (2013) 67,48 °C en harina de guineo y 66,41 °C en el almidón del mismo, LUCAS *et al.*

(2014) 68,88 °C en harina de plátano gross michel y 48,36 °C en su almidón, y HOYOS (2015) 64,5 °C en almidón plátano morado. Valores similares a los encontrados en el estudio reportó MONTTOYA *et al.* (2014) T_P de 73,8 °C y 72 °C en harina y almidón de plátano dominico hartón y KHOOZANI *et al.* (2019) 71,08 °C en almidón de plátano cavendish. De otro lado, THANYAPANICH *et al.* (2021) encontró una T_P mayor en almidón de plátano hom khieo (77,97 °C) y en almidón de plátano namwa (76,98 °C). Las variaciones podrían ser explicadas por MONTTOYA *et al.* (2014) quienes reiteran que la temperatura pico sucede independiente de las condiciones del exceso de contenido acuoso, pero sí depende de la fuente botánica de donde proceda el almidón, coincidiendo con ZHANG *et al.* (2005), quienes informan que las diferencias en gelatinización reflejan el comportamiento frente a la cocción y ayudan a explicar las disimilitudes entre variedades y grupos genéticos. Por otra parte, los valores de temperatura encontrados nos sirven para comparar la calidad de la estructura cristalina de las muestras, tal como mencionan TRIBESS *et al.* (2009) y MARTÍNEZ *et al.* (2015) mientras mayor sea la T_P , más cohesiva y estable es la región cristalina, asimismo MAR *et al.* (2015) sugieren que un grado de cristalinidad alto influencia al aumento de los valores de temperatura de transición de los almidones, lo que proporciona estabilidad estructural y hace los gránulos de almidón más resistentes a la gelatinización. Por lo mismo, es posible afirmar, que los almidones de plátano guayabo poseen un alto grado de cristalinidad (más regiones cristalinas), con estructuras más estables, con respecto al moquicho.

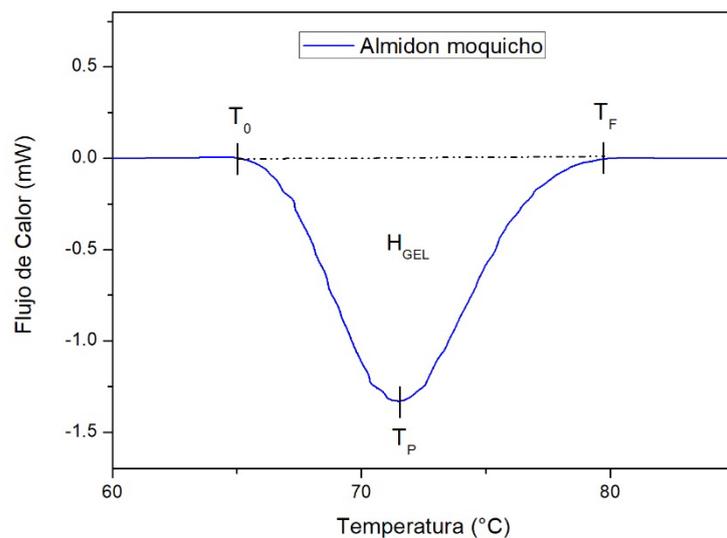


Figura 10. Análisis termogravimétrico (DSC) del almidón de plátano moquicho.

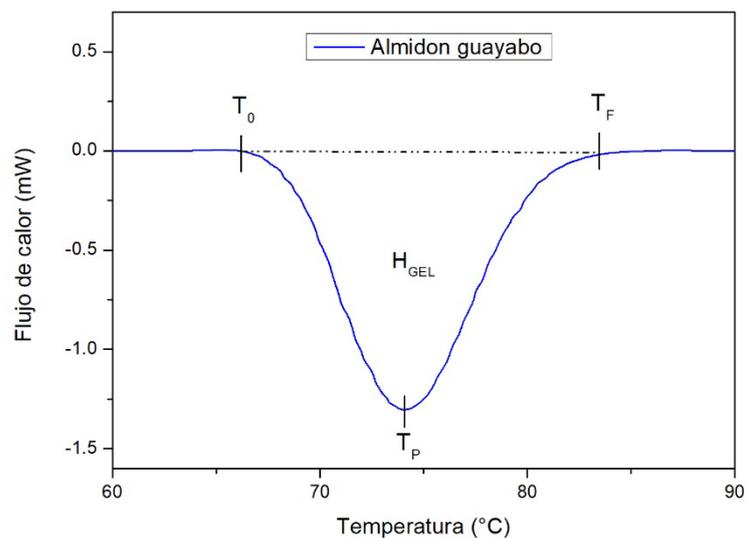


Figura 11. Análisis termogravimétrico (DSC) del almidón de plátano guayabo.

La temperatura final de gelatinización (T_F) presentó diferencia estadística ($p > 0,05$) entre ambas variedades y similitud entre harina y almidón de una misma variedad de muestra (Anexo-IIc), se reportó valores mayores en la variedad de guayabo comparado a las de moquicho, presentado la T_F mayor la harina de guayabo con $80,89 \pm 0,8$ °C y la menor el almidón de moquicho con

76,34 ± 0,31 °C. Asimismo, en las Figura 10 y Figura 11 se aprecia un pico endotérmico que se retrae hasta llegar a la línea base alcanzando el T_F . Esto indica que a medida que el proceso alcanza su etapa final, el sistema vuelve a un estado en el que no hay cambios de fase ni composición de la muestra. Según los resultados encontrados este concuerda con MONTROYA *et al.* (2014) en harina plátano dominico hartón T_F de 81,6 °C y LUCAS *et al.* (2013) 80,41 °C en harina de guineo. Para el caso de los almidones el resultado encontrado fue inferior a lo reportado por THANYAPANICH *et al.* (2021) T_f 80,37 °C en almidón de plátano hom khieo y 80,69 °C en almidón de plátano namwa, HOYOS (2015) reportó una temperatura final de 75,7 °C en almidón nativo de plátano morado, pero el resultado concuerda con el reporte de KHOOZANI *et al.* (2019) T_F de 74,99 °C en almidón de plátano Cavendish. Al respecto MONTROYA *et al.* (2014) mencionan que las diferencias en las temperaturas de gelatinización dependen en gran medida de las condiciones genéticas de los frutos, las condiciones climáticas del cultivo y de las semanas de cosecha. Asimismo, LUCAS *et al.* (2013) manifiestan que los valores mayores en los almidones con respecto a su harina se deben a la gomosidad de la muestra después de la absorción de calor.

La entalpía de gelatinización (ΔH_{GEL}) es la energía absorbida en el proceso; esta misma puede ser calculada al medir el área bajo la curva (Figura 9) del pico endotérmico de gelatinización (ÁLZATE CARVAJAL *et al.*, 2013), este parámetro es asociado a la energía necesaria para que los gránulos pierdan completamente su organización cristalina (MARTÍNEZ, 2015). Según los resultados en la ΔH_{GEL} se encontró diferencia estadística ($p > 0,05$) (Anexo-IIId). El mayor valor de entalpia de gelatinización lo manifestó el almidón de guayabo

($2,47 \pm 0,12 \text{ J.g}^{-1}$), seguido de la harina de guayabo ($2,12 \pm 0,02 \text{ J.g}^{-1}$), almidón de moquicho ($1,95 \pm 0,13 \text{ J.g}^{-1}$) y harina de moquicho ($1,65 \pm 0,08 \text{ J.g}^{-1}$). Al respecto MONTROYA *et al.* (2014) reportaron una ΔH_{GEL} $2,015 \text{ J.g}^{-1}$ y $2,291 \text{ J.g}^{-1}$ en harina y almidón de plátano dominico hartón, mientras que LUCAS *et al.* (2013) encontraron valores de $2,38 \text{ J.g}^{-1}$ y $6,06 \text{ J.g}^{-1}$ en harina y almidón de plátano guineo, y THANYAPANICH *et al.* (2021) $3,05 \text{ J.g}^{-1}$ en almidón de plátano hom khieo y $7,76 \text{ J.g}^{-1}$ en almidón de plátano namwa. Las variaciones en las propiedades de gelatinización de los almidones podrían atribuirse a varios factores, entre ellos la composición mineral, la morfología y el tamaño de los gránulos y la estructura molecular de la región cristalina de los almidones (SÁNCHEZ-GONZALEZ, 2019). Asimismo, QUITINGUIÑA *et al.* (2012) afirmaron que resultados de entalpía mayor sugieren un mayor grado de cristalinidad, haciéndolos más resistentes a la gelatinización, ya que esta ocurre inicialmente en las regiones amorfas, zona de la amilopectina, donde los enlaces por puente de hidrógeno son más débiles, debido a que la amilosa es propensa a lixiviar a los exteriores del gránulo de almidón, mientras que LUCAS *et al.* (2013) mencionan que los bajos valores en las entalpías podrían indicar ausencia de homogeneidad en las estructuras ordenadas dentro de los gránulos. Los mayores valores en la variedad guayabo (plátano de cocción) con respecto a la variedad moquicho (plátano de postre), coinciden con ROSALES-REYNOSO *et al.* (2014), quienes mencionan que las variables de gelatinización (vinculadas a la pérdida de cristalinidad por DSC) son altamente dependientes del contenido total de almidón, mayor en el plátano de cocción que en los de postre.

El tiempo de gelatinización está representado por el rango de (R) de temperatura $T_F - T_0$. Estas temperaturas indican la transición de las fases de la harina y del almidón al inicio de la gelatinización de las muestras cuando son sometidas a altas temperaturas o de cocción. El mayor tiempo de gelatinización lo presentaron la variedad de guayabo ($11,06 \pm 0,62$ en la harina y $11,37 \pm 0,45$ en el almidón) mientras la variedad de moquicho presentó valores más bajos ($8,8 \pm 0,29$ en la harina y $8,99 \pm 0,29$ en su almidón), como se observa existe una clara diferencia entre ambas variedades, y similitud entre harina y almidón de las misma (prueba de Tukey, $p > 0,05$). El tiempo encontrado para las harinas fue menor que lo reportado por LUCAS *et al.* (2013) en harina de plátano guineo R de 21,61, LUCAS *et al.* (2014) 21,35 en harina de plátano gross michel. Por otro lado, en el caso de los almidones, AMINI *et al.* (2019) reportaron un R menor, de 8,02 en almidón de plátano cavendish y HOYOS (2015) reportó un valor mayor de 15,4 en almidón nativo de plátano morado, así como THANYAPANICH *et al.* (2021) encontraron rangos de 5,85 en almidón de plátano hom khieo y 7,05 en almidón de plátano namwa. Las divergencias en las temperaturas de gelatinización de los almidones pueden atribuirse a la interacción de la composición, la estructura molecular de la amilopectina, la arquitectura de gránulo (LUCAS *et al.*, 2014), la concentración del almidón, origen - forma del gránulo (RODRÍGUEZ *et al.*, 2009), la fuente botánica de donde procede el almidón (LUCAS-AGUIRRE *et al.*, 2016), grado de maduración del fruto y la variedad (DA MOTA *et al.*, 2000).

4.3. Propiedades funcionales tecnológicas de almidón de plátano (*M. acuminata* AAA y AA)

El comportamiento tecnológico de los almidones, depende de sus propiedades funcionales, las cuales revelan su comportamiento en distintas condiciones (CEDEÑO-SARES *et al.*, 2021). En la presente investigación se estudió las propiedades de claridad, estabilidad a la congelación-descongelación (sinéresis), solubilidad en agua fría y capacidad de retención de agua.

4.3.1. Claridad

La claridad indica la capacidad de los geles para transmitir la luz y está relacionada directamente con la retrogradación de los almidones, el estado de dispersión de los solutos y los enlaces asociativos entre las moléculas de almidón en los gránulos (HAZARIKA Y SIT, 2016). La transmitancia se define como la fracción de luz que pasa a través de una muestra, como se puede observar a una longitud de onda de 650 nm, es decir cuanto mayor sea la transmitancia, mayor será la claridad, que indica valores más bajos de opacidad y absorbancia (PIÑEROS-GUERRERO *et al.*, 2019).

En la Cuadro 4 y Figura 12 se presentan los valores de transmitancia de los almidones de guayabo y moquicho, a temperatura ambiente y a 4°C, en el tiempo 0 se puede observar que existe diferencia estadística entre las variedades (Anexo-IIIa), y según la prueba de Tukey el mayor promedio correspondió a la transmitancia de los almidones de la variedad guayabo, en temperatura ambiente y a 4 °C, comportamiento similar fue reportado por REDDY *et al.* (2015) quienes indican que la variedad influyo en la transmitancia

entre cuatro diferentes cultivares de banano (karpuraalli, poovan, sevvazhai y thenvazhai), encontrando valores desde 3 % a 3,5 %.

Cuadro 4. Transmitancia de almidón de plátano variedad guayabo y moquicho

| % Transmitancia (650 nm) | guayabo | | moquicho | |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | T° Ambiente | 4 °C | T° Ambiente | 4 °C |
| 0 h | 6,50 ± 0,19 ^a | 6,85 ± 0,15 ^a | 4,25 ± 0,15 ^b | 4,27 ± 0,29 ^b |
| 24 h | 7,22 ± 0,50 ^a | 1,44 ± 0,22 ^b | 6,97 ± 1,52 ^a | 0,62 ± 0,09 ^b |
| 48 h | 6,59 ± 0,15 ^a | 0,27 ± 0,02 ^b | 6,21 ± 0,8 ^a | 0,29 ± 0,03 ^b |
| 72 h | 6,49 ± 0,11 ^a | 0,29 ± 0,03 ^b | 6,39 ± 0,79 ^a | 0,19 ± 0,018 ^b |

Los valores representan (promedio ± SEM) datos provenientes del experimento (n=3), valores de una misma fila con superíndices diferentes son significativos ($p \leq 0,05$).

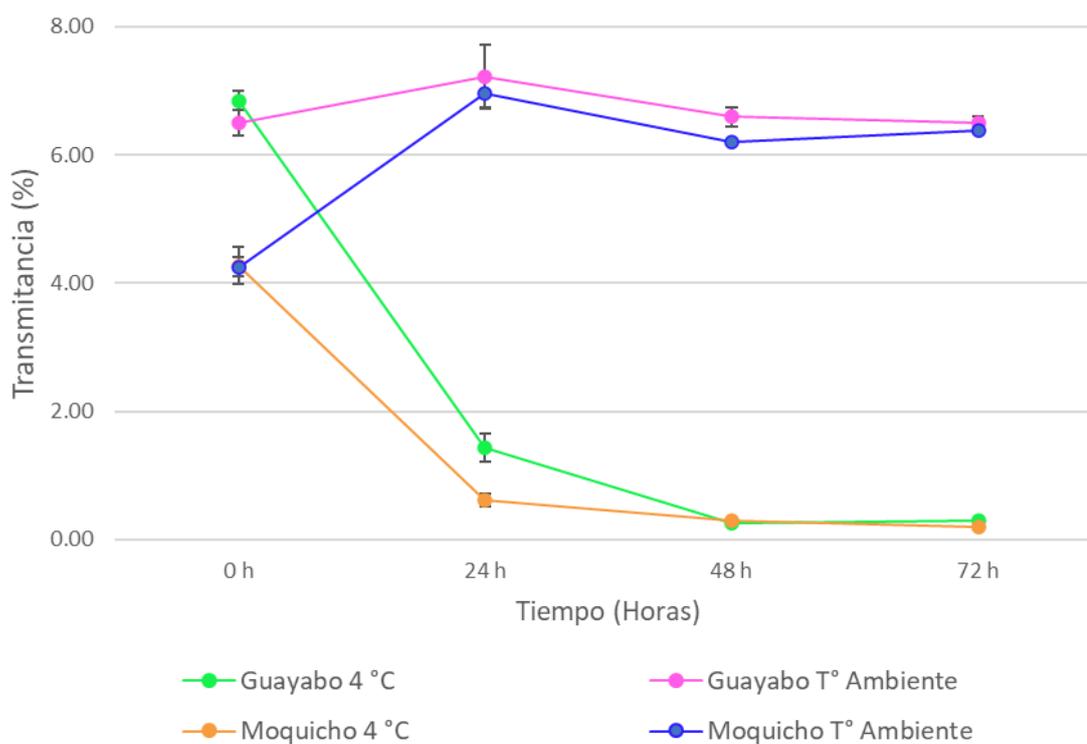


Figura 12. Porcentaje de transmitancia de almidón variedad guayabo y moquicho a 4 °C y temperatura ambiente.

A las 24 horas de almacenamiento a temperatura ambiente, la transmitancia del gel de guayabo presentó diferencia estadística (Anexo-IIIb), con respecto a la transmitancia a 4 °C. Comportamiento similar lo presentó el almidón de moquicho. Al respecto de la evaluación de la transmitancia KUMAR *et al.* (2019) mencionan que la temperatura de almacenamiento influye en la retrogradación del almidón que consiste en la gelatinización de las moléculas de amilosa y recristalización de amilopectina.

Para los tiempos de 48 y 72 horas, el almidón de guayabo tuvo comportamiento similar al de 24 horas (Anexo-IIIc y Anexo-IIId), pero cabe destacar que, al pasar el tiempo, los porcentajes de transmitancia para las variedades y temperaturas fueron disminuyendo, a excepción de la variedad guayabo a 4 °C y el moquicho a temperatura ambiente, los cuales tuvieron un ligero aumento. Valores menores fueron reportados por REDDY *et al.* (2015) quienes encontraron valores de 3,0 % hasta 2,2 %. La disminución en la transmitancia de los geles de almidón es el resultado de la retrogradación del almidón, como lo menciona FONTES *et al.* (2017) quienes afirman que el paso del tiempo de almacenamiento determina la disminución de la transmitancia y aumento de la opacidad visual de los geles. Asimismo, TORRUCO-UCO Y BETANCUR-ANCONA (2007) mencionan que la claridad es un parámetro clave para determinar la aplicación de los almidones en productos alimenticios debido a que pueden dar brillantez u opacidad al producto final, por lo que valores más altos de transmitancia, como los encontrados en esta investigación, en ambas variedades, denotan idoneidad de estos para ser utilizados en alimentos que necesiten esas características. Así mismo, WATERSCHOOT *et al.* (2015)

mencionan que la presencia de cadenas relativamente cortas de amilosa o amilopectina aumentan la opacidad en productos alimenticios y que almidones con valores altos de claridad son útiles en alimentos como rellenos de fruta y gelatinas, mientras que almidones con valores bajos de la misma son útiles para productos como salsas, aderezos y pudines, productos donde no es necesario valores altos de claridad.

4.3.2. Estabilidad a la congelación-descongelación (sinéresis)

La estabilidad a la congelación-descongelación o sinéresis es una propiedad valiosa del almidón y suministra datos acerca de su aptitud como insumo para productos congelados. La reforma de las moléculas de almidón cuando se someten a congelación puede derivar en sinéresis que influye en sus propiedades funcionales (NASRIM *et al.*, 2014). Según los resultados del Cuadro 5 y la prueba T para medias pareadas (Anexo-IV), indica que el valor P fue menor a 0,05 lo que significa que la variedad no influyó en la sinéresis para ambos almidones, obteniéndose un rango desde 0,87 % (moquicho) a 1,25 % (guayabo). Por el contrario, MARTA *et al.* (2019) encontraron influencia de las variedades en la sinéresis de los almidones de los plátanos anbon ($0,59 \pm 0,05$ %), nangka ($17,62 \pm 0,90$ %), kapas ($22,23 \pm 0,68$ %) y kepok ($32,14 \pm 0,30$ %). CAHYANA *et al.* (2018) reportaron una sinéresis en almidón nativo de *M. acuminata* Colla de 26,9% y NASRIM *et al.* (2014) registraron valores de 28,2 % para el almidón de plátano kluai namwa. SURENDRA *et al.* (2018) y FONTES *et al.* (2017) relacionan la tasa de pérdida de agua con la estabilidad de

congelación-descongelación del almidón después de cierto tiempo de almacenamiento, una baja sinéresis indica que el almidón es menos propenso a degradación, es decir posee una mayor estabilidad. Los resultados de sinéresis para ambas variedades fueron bajos, al respecto NASRIM *et al.* (2014), mencionan que sin sinéresis o una pequeña cantidad, permite que los geles de estos almidones sean apropiados para aplicar en alimentos congelados cuya sinéresis es indeseable.

Cuadro 5. Propiedades funcionales tecnológicas de almidón de plátano

| Propiedad | guayabo | moquicho | p-valor |
|--|-------------|-------------|---------|
| Estabilidad congelación descongelación o Sinéresis (%) | 1,25 ± 0,07 | 0,87 ± 0,09 | 0,1114 |
| Solubilidad en agua fría (%) | 2,23 ± 0,08 | 4,15 ± 0,5 | 0,0006 |
| Capacidad retención agua (g.g ⁻¹) | 0,92 ± 0,01 | 1,2 ± 0,03 | 0,0038 |

Los valores representan promedio ± SEM, datos provenientes del experimento (n=3), diferencia de medias significativa a un nivel de 0,05.

4.3.3. Solubilidad en agua fría

El índice de solubilidad se define como la cantidad relativa de almidón que puede ser disuelto en agua (CONTRERAS-PÉREZ *et al.*, 2018) o la cantidad de amilosa que se lixivia del gránulo de almidón (MARTA *et al.*, 2019).

Según los resultados del Cuadro 5 con un 95 % de confianza se puede afirmar que existe diferencia entre la solubilidad de las variedades guayabo y moquicho conforme los resultados de la prueba T (Anexo-V). El menor porcentaje de solubilidad fue para el almidón de guayabo (2,23 %) y mayor para

el almidón de moquicho (4,15 %), este último concuerda con los reportes de MARTA *et al.* (2019) quienes encontraron valores de solubilidad similares en 4 variedades de almidones de plátano (3,21 % a 4,48 %) y CAHYANA *et al.* (2018), reportando una solubilidad de 4,63 % en almidón nativo de *M. acuminata* colla. Los almidones con mayores valores de solubilidad tienen utilidad en la industria alimentaria (REDDY *et al.*, 2015). El menor porcentaje fue muy cercano a lo reportado por REDDY *et al.* (2015) en almidón de plátano sevvazhai (3,51 %) y almidón de plátano karpuravalli (3,20 %). En contraste AKUBOR E IGBA (2019) reportaron valores de solubilidad de 7,26 % en almidón plátano verde *Musa spp*, ALVIOLA Y MONTERDE (2018) 8,03 % en almidón de banana de Filipinas y SURENDRA *et al.* (2018) 15,56 % en almidón nativo de *M. paradisiaca*.

La diferencia respecto a los valores citados podría estar vinculado al tamaño de la molécula de almidón, la cristalinidad, asociaciones de lípidos y proteínas con el almidón (REDDY *et al.*, 2015), grado de ramificación, configuración de las moléculas y longitud de las ramificaciones (NASRIM *et al.*, 2014). REDDY *et al.* (2015), NASRIM *et al.* (2014), KUSUMAYANTI *et al.* (2015) y UTRILLA-COELLO *et al.* (2014) coinciden afirmando que el contenido de amilosa influye positivamente en la solubilidad y ALVIOLA Y MONTERDE (2018) encontraron correlación positiva altamente significativa entre la solubilidad y el tamaño de los gránulos de almidón.

4.3.4. Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua es el volumen de agua que puede ser absorbida por un gramo de material seco en presencia de un exceso de agua (ALARCÓN-GARCÍA *et al.*, 2013) y se expresa como el peso (g) de agua unida por 1 g de muestra de almidón.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de la capacidad de retención de agua de los almidones de guayabo y moquicho, según la prueba de T para medias pareadas (Anexo-VI), se encontró que el valor P fue menor a 0,05 lo que significa que la variedad influyó en la capacidad de retención de agua para ambos almidones, reportando valores de capacidad de retención de agua de 0,92 g.g⁻¹ para el guayabo y 1,2 g.g⁻¹ para el moquicho. Valores ligeramente superiores fueron reportados por MARTA *et al.* (2019) en almidón de plátano kapas (1,49 ± 0,02 g.g⁻¹), kepok (1,51 ± 0,02 g.g⁻¹), anbon (1,78 ± 0,02 g.g⁻¹), nangka (1,74 ± 0,03 g.g⁻¹); ALVIOLA y MONTERDE (2018) en almidón de plátano de Filipinas (1,82 g.g⁻¹), CAHYANA *et al.* (2018) en *M. acuminata* colla (1,98 ± 0,32 g.g⁻¹). Valores similares fueron citados por FONTES *et al.* (2017) en almidón Mysore (1,19 g.g⁻¹), y THANYAPANICH *et al.* (2021) en almidón de plátano hom khieo y namwa fueron 1,27 ± 0,12 g.g⁻¹ y 1,53 ± 0,12 g.g⁻¹, respectivamente.

La diferencia estadística encontrada en la CRA puede deberse a varios factores, como el método de obtención del almidón, molienda, daño al almidón, la temperatura de procesamiento (BAKAR *et al.*, 2018), la estructura del almidón y su morfología (MARTA *et al.*, 2019). Según RESIO *et al.* (2000), estas

características pueden definir el interés industrial de los almidones en la formulación de productos alimenticios coincidiendo con OSUNDAHUNSI *et al.*, (2003) quienes afirman que la capacidad de retención de agua es deseable en la mayoría de los sistemas de procesamiento de alimentos para mejorar el rendimiento y proporcionar las propiedades organolépticas adecuadas que hacen que los alimentos sean únicos y aceptables para los consumidores. Por ejemplo, FIGONI (2011) indica que una alta capacidad de retención de agua es importante y deseable al hornear pan porque la tasa de envejecimiento se ralentiza debido a la humedad agregada.

En general, se puede concluir que las variedades de plátano afectaron significativamente el valor funcional de los almidones en la solubilidad en agua fría y capacidad de retención de agua, no influyó en la estabilidad a la congelación-descongelación (sinéresis) y en el caso de la claridad influyó la temperatura de almacenamiento.

V. CONCLUSIONES

- Las características morfológicas de la harina y almidón de los plátanos moquicho (*M. acuminata* AAA) y guayabo (*M. acuminata* AA) revelaron formas ovalas y alargadas con texturas lisas y compactas. Los tamaños fueron harina y almidón AA >harina y almidón AAA.
- El análisis termogravimétrico indicó mayor temperatura de descomposición en los almidones, para moquicho en 261,64 °C y guayabo en 258,96 °C, comparado a sus harinas, para moquicho en 230,81 °C y guayabo en 228,32 °C.
- La calorimetría diferencial de barrido demostró que las temperaturas de gelatinización y entalpías en la variedad moquicho ($8,8 \pm 0,29$, en harina y $8,99 \pm 0,29$, en almidón) fue óptima para procesos que requieran alcanzar rápidamente este estado, mientras que la variedad guayabo ($11,06 \pm 0,62$, en harina y $11,37 \pm 0,45$, en almidón) es mejor para procesos que requieran mantener las características a mayor temperatura antes de la gelatinización.
- La caracterización funcional tecnológica de los almidones de moquicho y guayabo demostró que ambos presentaron claridad a temperatura ambiente (6,39 a 6,49), y opacidad a 4 °C (0,19 a 0,29) y tuvieron baja sinéresis (0,87 % a 1,25 %). La mayor solubilidad y capacidad de retención de agua fueron para el moquicho (4,15 % y $1,2 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$), y el menor para guayabo (2,23 % y $0,92 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$).

VI. RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos en el transcurso de esta investigación se puede sugerir las siguientes recomendaciones:

- Utilizar la harina y almidón de moquicho (*M. acuminata* AAA) para reducir costos energéticos, además el almidón posee buenas propiedades funcionales tecnológicas (premezclas)
- Utilizar la harina y almidón de guayabo (*M. acuminata* AA), en procesos industriales que se necesiten mantener sus características a mayores temperaturas (panificación, cárnicos).
- Usar los almidones de ambas variedades como ingredientes funcionales tecnológicos en la industria alimentaria porque influyen positivamente en la estabilidad congelación-descongelación y generan menos sinéresis.
- Estudiar mezclas alimenticias en polvo utilizando el almidón de *M. acuminata* AA, porque poseen solubilidad adecuada para este tipo de alimentos.
- Desarrollar productos congelados que no requieran brillo utilizando el almidón de *M. acuminata* AA, porque posee claridad y sinéresis adecuada.
- Estudiar la influencia de la edad de floración e índice de madurez en las propiedades morfológicas, térmicas y funcionales tecnológicas de *M. acuminata* AAA y AA.
- Estudiar las propiedades de relación amilosa/amilopectina, el color y propiedades reológicas de los almidones.

- Estudiar el uso de ambos almidones en la fabricación de bioplásticos.
- Estudiar el uso de ambos almidones en la fabricación de coberturas biodegradables para alimentos.

VII. ABSTRAC

Yearly, close to thirty three thousand million tons of bananas are wasted, but transforming them into flour and starch could recuperate this waste and give it an added value so that it can be used in the food industry. Thus, the objective of this research was to characterize the morphological, thermal and functional technological properties of flour and starch from *Musa acuminata* AAA and AA (moquicho and guayabo – common names in Spanish) bananas. The flour and starch samples were analyzed with a scanning electron microscope (SEM) in order to register their shape and size. The differential scanning calorimetry method (DSC) and thermogravimetric analysis (TG) techniques were applied through the use of a calorimeter. In the case of the starches, their functional technological properties were determined. The morphology of the flours and starches pointed to long, compact oval shapes with a smooth texture. The thermal properties reflected greater degradation temperatures for the starches (moquicho 261.64 °C and guayabo 258.96 °C), than the flours (moquicho 230.81 °C and guayabo 228.32 °C). Gelatinization temperatures and enthalpies were less for the moquicho (8.8 ± 0.29 flour and 8.99 ± 0.29 starch) than for the guayabo (11.06 ± 0.62 flour and 11.37 ± 0.45 starch). The functional technological characterization of the starches indicated that they presented clarity at room temperature, opaqueness at 4 °C, and that they have low syneresis (0.87 % to 1.25 %). The greatest solubility and water retention capacity was for the

moquicho (4.15 % and 1.2 g.g-1), and the least was for the guayabo (2.23 % and 0.92 g.g-1).

Keywords: garden vegetables, garden fruit, starch, flour, banana, *Musa acuminata*.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA-PÉREZ, V., VARGAS-TORRES, A., ZAMUDIO-FLORES P., SOTO-SIMENTAL, S., GONZÁLEZ-TENORIO, R. 2018. Efecto de la modificación física y química de los almidones sobre las propiedades térmicas de un producto cárnico a base de pescado. Boletín de Ciencias Agropecuarias Del ICAP, 4(7).
- AFIFAH, D., STEPHANIE, AULIA, A., RAHADIYANTI, A., KURNIAWATI, D.M., RUSTANTI, N., ANJANI, G., ARIFAN, F., WIDYASTITI, N.S. 2020. Physical and chemical characteristics of enzymatically modified Batu banana (*Musa balbisiana* Colla) and Kepok banana (*Musa paradisiaca* formatypica) flours. Food Research. 5124-131.
- AGAMA-ACEVEDO E, RODRIGUEZ-AMBRIZ SL, GARCIA-SUAREZ FJ, GUTIERREZ- MERAZ F, PACHECO-VARGAZ G. 2014. Starch isolation and partial characterization of comercial cooking and desert banana cultivars growing in mexico. Starch/starke 66:337-344.
- Ai Y. 2013. Structures, properties and digestibility of resistant starch. Paper 13558. Graduate theses and dissertations. Graduate College. Iowa State University, USA.
- AKUBOR, PI., IGBA, T. 2019. Effect of pre gelatinization and annealing on the chemical composition, functional and pasting properties of starch

prepared from unripe banana fruits. South Asian Journal of Food TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT. 5(1):807-816.

ALARCÓN-GARCÍA, M.A., LÓPEZ-VARGAS, J.H., RESTREPO-MOLINA, D.A., 2013. Caracterización de la funcionalidad tecnológica de una fuente rica en fibra dietaria obtenida a partir de cáscara de plátano. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín. 66(1):6959-6968

ALVIOLA, J.N.A., MONTERDE, V.G. 2018. Physicochemical and functional properties of wheat (*Triticum aestivum*) and selected local flours in the Philippines. Philippine Journal of Science. 147(3):419-430.

ÁLZATE CARVAJAL, E., QUINTERO CASTAÑO, V., LUCAS AGUIRRE, J. 2013. Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto (*erytina edulis triana ex micheli*). Temas Agrarios, 18(2):21-35.

AMINI KHOOZANI, A., BIRCH, J., BEKHIT, A.E.A. 2019. Production, application and health effects of banana pulp and peel flour in the food industry. J Food Sci Technol. 56(2):548-559.

ASHRI, A., YUSOF, M., JAMIL, M., ABDULLAH, A., YUSOFF, S., ARIP, M., & LAZIM, A. 2014. Physicochemical characterization of starch extracted from Malaysian wild yam (*Dioscorea hispida* Dennst.). Emirates Journal of Food and Agriculture, 26(8), 652-658.

BAKAR, S.K.S.A., AHMAD, N., JAILANI, F. 2018. Chemical and functional properties of local banana peel flour. Journal of Food and Nutrition Research. 6(8):492-496.

- BELLO-PÉREZ, L. A., AGAMA ACEVEDO, E., SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, L., PAREDES-LÓPEZ, O. 1999. Isolation and partial characterization of banana starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(3), 854-857.
- BELLO-PÉREZ, L.A., CONTRERAS-RAMOS, S.M., ROMERO-MANILLA, R., SOLORZA-FERIA, J., JIMÉNEZ-APARICIO, A. 2002. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (Var.Macho). *Agrociencia*. 36(2):169-180.
- BENITO, J. (2014). *Apuntes de Metodos de Analisis Termicos*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- BERTOLINI, A. 2010. *Starches: Characterization, properties and Applications*. First Edition. Editorial CRC Press: Taylor & Francis group. USA. 276 pp.
- BI Y, ZHANG Y, JIANG H, HONG Y, GU Z, CHENG L. 2017. Molecular structure and digestibility of banana flour and starch. *Food Hydrocoll*. 72:219–27.
- BRUINSMA, J. 2017. *World agriculture: towards 2015/2030: an FAO study*. Routledge.
- CAHYANA, Y., TITIPANILLAH, R., MARDAWATI, E., SUKARMINAH, E., RIALITA, T., ANDOYO, R., MOHAMAD D., IN-IN H., IMAS SITI S. HANDARINI, K. 2018. Non-starch contents affect the susceptibility of banana starch and flour to ozonation. *Journal of Food Science and Technology*. 55(5):1726-1733.
- CASTAÑEDA NIÑO, J. P., MINA HERNANDEZ, J. H., VALADEZ GONZÁLEZ, A. 2021. Potential Uses of Musaceae Wastes: Case of Application in the Development of Bio-Based Composites. *Pcahyolymers*. 13(11):1844.

- CASTAÑO-CARVAJAL, M.F.; CORREA-GIRALDO, D.; AGUDELO-LAVERDE, L.M. 2019. Elaboración de productos tipo tallarín libres de gluten y evaluación de sus propiedades fisicoquímicas. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 22(1):1194.
- CASTROVIEJO FERNÁNDEZ, MARÍA PILAR. 2020. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). [En línea]: Universidad de Burgos, (<https://www.ubu.es/parque-cientifico-tecnologico/servicios-cientifico-tecnicos/microscopia/microscopia-electronica-de-barrido-meb>)
- CEDEÑO-SARES, L. A., DÍAZ-TORRES, R., CASARIEGO-AÑO, A., ARIAS-TORO, D., YÁNEZ-ROMERO, M. 2021. El Efecto de la acetilación sobre propiedades físicas del almidón de Banano (*M. Sapientum* L.) variedad Cavendish. Cumbres. 7(1):9-20
- CHÁVEZ-SALAZAR, A., BELLO-PÉREZ, L.A., AGAMA-ACEVEDO, E., CASTELLANOS-GALEANO, F.J., ÁLVAREZ-BARRETO, C.I., PACHECO-VARGAS, G. 2017. Isolation and Partial Characterization of Starch from Banana Cultivars Grown in Colombia. Int. J. Biol. Macromol. 98:240-246.
- CHI H, XU K, WU X, CHEN Q, XUE D, SONG C, ZHANG W, WANG P. 2008. Effect of acetylation on the properties of corn starch. Food Chem. 106: 923-92.
- CONTRERAS-PÉREZ, R.K., DE LA TORRE-GUTIÉRREZ, L., GONZÁLEZ-CORTÉS, N., JIMÉNEZ-VERA, R. 2018. Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). European Scientific Journal. 14:30.

- CORDEIRO M.J.M, VELOSO C.M., SANTOS L.S., BONOMO R.C.F., CALIARI M, FONTAN R.D.C.I. 2018. The Impact of Heat-Moisture Treatment on the Properties of *Musa paradisiaca* L. Starch and Optimization of Process Variables. *Food Technol Biotechnol.* 56(4):506-515.
- CORREA ABRIL JHONNY GABRIEL. 2019. Diseño de una planta de producción de harina de plátano verde dominicano (*Musa Cavendishii* L.) ecuatoriano mediante secado por aspersion. Tesis de Ingeniería Química. Quito, Ecuador. Universidad Central del Ecuador. 13 p.
- DA MOTA, R. V., LAJOLO, F. M., CIACCO, C., CORDENUNSI, B. R. 2000. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. *Starch/Stärke.* 52(2-3):63 - 68.
- DE BARROS MESQUITA, C., LEONEL, M., FRANCO, C. M. L., LEONEL, S., GARCIA, E. L., & DOS SANTOS, T. P. R. 2016. Characterization of banana starches obtained from cultivars grown in Brazil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 89, 632–639.
- DHULL, S. B., MALIK, T., KAUR, R., KUMAR, P., KAUSHAL, N., SINGH, A. 2021. Banana Starch: Properties Illustration and Food Applications—A Review. *Starch-Stärke.* 73(1-2) 2000085.
- DUFOUR D, GIBERT O, GIRALDO A, SÁNCHEZ T, REYNES M, PAIN JP, GONZÁLEZ A, FERNÁNDEZ A, DÍAZ A. 2008. Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 2. Thermal and functional characterization of cultivated Colombian Musaceae (*Musa* sp.). *J. Agric. Food Chem.* 57(17): 7870-7876.

- EASTMAN, J.E., MOORE C.O. 1984. Cold-water-soluble granular starch for gelled food compositions. Staley Continental Inc Tate and Lyle Ingredients Americas LLC US.
- FIGONI P. 2011. How baking works, 3rd edition. New Jersey: John Wiley & Sons. 399p.
- FLORES NAVARRETE, DIEGO STALIN. 2018. Obtención de harina de plátano verde tipo HARTÓN (*Musa AAB*) precocida y fortificada. Tesis de Ingeniería Química. Quito, Ecuador. p 46.
- FLORES-GOROSQUERA, E., GARCÍA-SUAREZ, F., FLORES-HUICOCHEA, E., NÚÑEZ-SANTIAGO, M.C., GONZÁLEZ-SOTO, R.A., BELLO-PÉREZ, L.A. 2004. Rendimiento del proceso en la extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. Acta Científica Venezolana. 55 (1): 86–90.
- FONTES, S. de M., CAVALCANTI, M. T., CANDEIA, R. A., ALMEIDA, E. L. 2017. Characterization and study of functional properties of banana starch green variety of Mysore (*Musa AAB* - Mysore). Food Science and Technology. 37(2):224-231.
- GIBERT, O., ALEMÁN, S., GUZMÁN R., RAYMÚNDEZ, M., LAURENTIN, A., MANZANILLA, E., RICCI, J., PÉREZ, E. 2014. Morphometric Variations of Banana Starches Issued from Various Genomic Groups and In vitro Starch Digestibility. Enliven: Journal of Dietetics Research and Nutrition. 01(01).
- GIRALDO TORO, A.; GIBERT, O.; BRIFFAZ, A.; RICCI, J.; DUFOUR, D.; TRAN, T.; BOHUON, P. 2016. Starch Gelatinization and in Vitro Digestibility

Behaviour after Heat Treatment: Comparison between Plantain Paste and Piece of Pulp. *Carbohydr. Polym.* 147:426-435

GRANADOS CRISTANCHO, YENNY ALEJANDRA. 2015. Importancia De Los Ensayos TGA y DSC en el Estudio de las Propiedades Térmicas de Mezclas Asfálticas. Tesis de Ingeniería Topográfica. Bogotá, Colombia. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. p 17.

HAZARIKA, B. J., SIT, N. 2016. Effect of dual modification with hydroxypropylation and cross-linking on physicochemical properties of taro starch. *Carbohydrate polymers.*140:269-278.

HERNÁNDEZ, I., MARTÍNEZ, M., CONTRERAS, R., PÉREZ, R. 2017. Extracción de almidón por el método seco en plátano macho, cuadrado y castilla. *Revista de Simulación y Laboratorio.* 4(13):1-7.

HOOVER, R. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers.* 45(3):253-267.

HOYOS-LEYVA J.D., ALONSO-GOMEZ L., RUEDA-ENCISO J., YEE-MADEIRA H., BELLO-PEREZ, L.A., ALVAREZ-RAMIREZ J. 2017. Morphological, physicochemical and functional characteristics of starch from *Marantha ruiziana* Koern. *LWT Food Sci Technol.* (83):150-156.

HUNG, P. V., CHAM N. T. M., TRUC, P. T. T. 2013. Characterization of Vietnamese Banana Starch and Its Resistant Starch Improvement. *International Food Research Journal.* 20(1): 205-211.

INEI. 2021. Perú: Panorama Económico Departamental. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Boletín Técnico n° 05 11 p.

- INIA. 2021. Minagri desarrollará tecnología que proteja al banano orgánico de letal hongo fusarium oxysporium. [En línea]: INIA, (<https://www.inia.gob.pe/2020-nota-040/>).
- JAVIER DARÍO HOYOS LEYVA. 2015. EFECTO DEL TRATAMIENTO HIDROTÉRMICO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO: DIGESTIBILIDAD Y CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS. Tesis para Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Querétaro, México. Universidad Autónoma De Querétaro. 51 p.
- JIANG, H., ZHANG, Y., HONG, Y., BI, Y., GU, Z., CHENG, L., LI, Z., LI, C. 2015. Digestibility and changes to structural characteristics of green banana starch during in vitro digestion. Food Hydrocoll. 49:192-199.
- JOSÉ CARLOS LEÓN CARRASCO. 2021. Consumo de frutas en Perú alcanza los 55 kilos por persona al año. [En línea]: INIA, (<https://agraria.pe/noticias/consumo-de-frutas-en-peru-alcanza-los-55-kilos-por-persona-a-24248>).
- KHOOZANI A.A., BEKHIT A.E.A., BIRCH J. 2019. Effects of different drying conditions on the starch content, thermal properties and some of the physicochemical parameters of whole green banana flour. Int J Biol Macromol. 1(30)938-946.
- KONGOLO, J. I., DA SILVA, L. S., WOKADALA, O. C., DU PLESSIS, B., HUSSELMAN, J., NGCOBO, M. E. K., DANEEL, M. 2017. Pasting, thermal, gel texture, resistant starch and colour properties of unripe banana flour from 10 desert banana varieties cultivated in South Africa. Journal of Food Measurement and Characterization. 11(3):1056-1064.

- KUMAR, P. S., SARAVANAN, A., SHEEBA, N., UMA, S. 2019. Structural, functional characterization and physicochemical properties of green banana flour from dessert and plantain bananas (*Musa* spp.). *LWT*, 108524.
- KUSUMAYANTI H, HANDAYANI NA, SANTOSA H. 2015. Swelling power and water solubility of cassava and sweet potato flour. *Procedia Environ. Sci.* 23: 164-167.
- LAJOLO, F., WENZEL, E. 2006. Carbohidratos en alimentos regionales iberoamericanos. Sao Paulo, BR, Editorial de la Universidad de Sao Paulo. 651p.
- LAWAL, O., OGUNDIRAN O., AWOKOYA, K., OGUNKUNLE, A. 2008. The low-substituted propylene oxide etherified plantain (*Musa paradisiaca normalis*) starch: Characterization and functional parameters. *Carbohydrate Polymers* 74: 717-724.
- LIU, X., FU, J., GU, D., LIU, W., LIU, T., PENG, Y., WANG J., WANG G. (2008). Genome-wide analysis of gene expression profiles during the kernel development of maize (*Zea mays* L.). *Genomics*. 91(4), 378-387.
- LONDOÑO, R.S., RINCÓN-LONDOÑO, N., CONTRERAS-PADILLA, M., ACOSTA-OSORIO, A.A. 2014. Physicochemical, morphological, and rheological characterization of *Xanthosoma robustum* Lego-like starch. *Intern. J. Biol. Macrom.* 65:222 - 228.
- LUCAS AGUIRRE, J. C., MONTOYA LÓPEZ, J., & QUINTERO CASTAÑO, V. D. 2014. Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Acta Agronómica*, 64(1):11–21.

- LUCAS, J.C., QUINTERO, V., CÁRDENAS VALENCIA, C.A. 2013. Caracterización de harina y almidón obtenidos a partir de plátano guineo AAAea (*Musa sapientum* L.). Acta Agronómica. 62(2):83-96
- LUCAS-AGUIRRE, J.C., VELÁSQUEZ-HERRERA, J.D., QUINTERO-CASTAÑO, V.D. 2016. Caracterización térmica y composicional de harinas extraídas de 30 variedades de *Musáceas* como alternativas en la Industria Agroalimentaria. Acta Agronómica, 64(1):11–21.
- MANZO-SÁNCHEZ, G., BUENROSTRO-NAVA, M.T., GUZMÁN-GONZÁLEZ, S., OROZCO-SANTOS, M., YOUSSEF, M. 2015. ESCOBEDO-GRACIA MEDRANO, R.M. Genetic Diversity in Bananas and Plantains (*Musa* spp.). Mol. Approaches Genet. Divers.
- MAR, N.N., UMEMOTO, T., ABDULAH, S.N.A., MAZIAH, M. 2015. Chain length distribution of amylopectin and physicochemical properties of starch in Myanmar rice cultivars. Int. J. Food Prop. 18:1719-1730.
- MARTA, H., CAHYANA, Y., DJALI, M., ARCOT, J., TENSISKA, T. 2019. A comparative study on the physicochemical and pasting properties of starch and flour from different banana (*Musa* spp.) cultivars grown in Indonesia. International Journal of Food Properties. 22(1):1562–1575.
- MARTÍNEZ MORA, EDISON OMAR. 2015. Sustitución parcial del granular durum por almidón de banano ecuatoriano en pastas alimenticias. Tesis Doctoral. La Habana, Cuba. Universidad de la Habana.
- MARTÍNEZ, O., LAPO, B., PÉREZ, J., ZAMBRANO C., MAZA, F. 2015. Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. Revista Colombiana de Química. 44(2):16-21.

- MARTÍNEZ-MORA E.O. 2015. Caracterización morfológica y contenido de almidón resistente y disponible en bananos (*Musa sapientum*) exportables del Ecuador. Revista Española de Nutrición Humana y Dietética. 19(3):153-159.
- MBOUGUENG, P., TENIN D., SCHER J., TCHIÉGANG, C. 2012. Influence of acetylation on physicochemical, functional and thermal properties of potato and cassava starches. J Food Eng. 108(2):320-326.
- MONTOYA LÓPEZ, JAIRO. 2020. Formulación de Una Matriz Alimentaria a Base de Harina de Plátano Dominic Hartón (*Musa paradisiaca* L.) Para el Diseño de Alimentos Funcionales Libres de Gluten. Tesis doctoral de Ingeniería Química. Manizales, Colombia. Universidad Nacional De Colombia. p 61.
- MONTOYA, J., QUINTERO, V., LUCAS, J. 2014. Evaluación fisicotérmica y reológica de harina y almidón de plátano dominico hartón (*musa paradisiaca* abb). Temas Agrarios. 19(2):214-233.
- MONTOYA-LÓPEZ, J., QUINTERO-CASTAÑO, D.M., LUCAS-AGUIRRE, J.C. 2015. Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). Acta Agronómica. 64(1):11-21
- NASRIN, T.A., NOOMHORM, A., ANAL, A.K. 2014. Physico-Chemical Characterization of Culled Plantain Pulp Starch, Peel Starch, and Flour. International Journal of Food Properties. 18(1):165–177.
- NWOKOCHA, L.M., WILLIAMS, P.A. 2009. Some properties of white and yellow plantain (*Musa paradisiaca*, Normalis) starches. Carbohydrate Polymer. 76 (1):133-138.

- OSUNDAHUNSI, O.F., FAGBEMI, T.N., KESSELMAN, E., SHIMONI, E. 2003. Comparison of the physicochemical properties and pasting characteristics of flour and starch from red and white sweet potato cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 51:2232–2236.
- PELISSARI, F. M.; ANDRADE-MAHECHA, M. M.; SOBRAL, P. J. D. A.; MENEGALLI, F. C. 2012. Isolation and Characterization of the Flour and Starch of Plantain Bananas (*musa Paradisiaca*). *Starch – Stärke.* 64(5): 382–391.
- PÉREZ C.M.L., PONCE A.E. 2013. Manual de prácticas de laboratorio. Tecnología de Carnes. Primera edición. Universidad Autónoma Metropolitana, pp 110.
- PERKIN, ELMER. 2018. Notas Técnicas: Calorimetría, Calorímetro Diferencial de Barrido, Calorímetros, DSC. 1 p.
- PINEDA, S., CORAL, C., ROSALES R. 2011. Estudio de las propiedades térmicas de harinas de maíz producidas por tratamiento térmico-alcalino. *Ingeniería y Ciencia.* 7(14):119-125.
- PINEDA-GÓMEZ, P, CORAL, D.F, RAMOS-RIVERA, D, ROSALES-RIVERA, A. 2011. Estudio de las propiedades térmicas de harinas de maíz producidas por tratamiento térmico-alcalino. *Ingeniería y Ciencia.* 7(14):119-142.
- PINEDA-GÓMEZ, P., CORAL, D., ARCINIEGAS, M., ROSALES- RIVERA, A., & RODRÍGUEZ- GARCÍA, M. 2010. Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Ingeniería y Ciencia,* 129-141.

- PIÑEROS-GUERRERO, N., SIERRA-BARAHONA, F.D., PIÑEROS-CASTRO, Y., ORTEGA-TORO, R. 2019. Microstructural and Optical Properties of Biodegradable Films Based on Thermoplastic Starch and Poly (ϵ -Caprolactone) with Antioxidant Activity. *Información tecnológica*. 30(4):293-300.
- POSADA, C., QUIÑONES, O., CASTILLO J.L., MOSCOSO, A. 2017. Bananas. [En línea]: Instituto de Investigación y Desarrollo de Comercio de la Cámara de Comercio de Lima, (<https://apps.camaralima.org.pe/RepositorioAPS/0/0/par/ESTUDIOBANANA/bananas.pdf>).
- QUITINGUIÑA, C., SANTACRUZ, S. 2012. Obtención de jarabe de glucosa a partir de la hidrólisis enzimática del almidón de banano, *Musa cavendish*. *Revista Boliviana de Química*. 29(1):55-62.
- RATNAYAKE, W. S., HOOVER, R., WARKENTIN, T. 2002. Pea Starch: Composition, Structure and Properties - a Review. *Starch – Stärke*. 54(6):217–234.
- REDDY, C.K., HARIPRIYA, S., VIDYA, P.V. 2015. Morphology, physico-chemical and functional characteristics of starches from different banana cultivars. *Food Scientists & Technologists Journal*. 52 (11):7289-7296.
- RESIO, A. N. C., TOLABA, M. P., SUAREZ, C. 2000. Algunas propiedades físicas y térmicas Del almidón de amaranto. *Food Science & Technology International*, 6(5), 371-378.
- ROBINSON, J., GALÓNAN, V. 2010. Plátanos y plátanos, 2ª ed. CABI: Oxfordshire, Reino Unido. ISBN 9781845936587.

- RODRIGUEZ-AMBRIZ, S., MENDEZ-MONTEALVO, G., VELAZQUEZ, G., BELLO-PEREZ, L. 2017. Thermal, rheological and structural characteristics of banana starches isolated using ethanol: Isolation method for banana starch. *Starch - Stärke*. 69.
- RODRÍGUEZ-SANDOVAL, EDUARDO, SANDOVAL-ALDANA, ANGÉLICA, FERNÁNDEZ-QUINTERO, ALEJANDRO. 2007. Evaluación de la retrogradación del almidón en harina de yuca precocida. *Revista Colombiana de Química*. 36(1):13-30.
- RODRIGUEZ-AMBRIZE, S. L., ISLAS-HERNINDEZ, J. J., AGAMA-ACEVEDO, E., TOVAR, J. AND BELLO-PEREZ. L. A. 2008. Characterization of a fiber-rich powder prepared by liquefaction of unripe banana flour *Food chemistry*. 107:1515-1521.
- ROJAS GONZÁLEZ, A.F., BARRAZA BURGOS, J.M. 2009. Características termogravimétricas de carbonizados obtenidos a altas velocidades de calentamiento. *Ingeniería e Investigación*, 29(2):25-34.
- ROSALES-REYNOSO, O. L., AGAMA-ACEVEDO, E., AGUIRRE-CRUZ, A., BELLO-PEREZ, L. A., DUFOUR, D., & GIBERT, O. 2014. Physicochemical evaluation of cooking and dessert bananas (*Musa sp.*) varieties. *Agrociencia*. 48(4):387-401
- SAENG-ON, J., AHT-ONG, D. 2015. Thermal Properties of Banana Starch Nanocrystals Prepared by Acid Hydrolysis as Reinforcing Filler. *Key Engineering Materials*, 659, 516–521.
- SALAZAR, D., ARANCIBIA, M., LALALEO, D., RODRÍGUEZ-MAECKER, R., LÓPEZ-CABALLERO, M. E., MONTERO, M. P. 2022. Physico-chemical

properties and filmogenic aptitude for edible packaging of Ecuadorian discard green banana flours (*Musa acuminata* AAA). *Food Hydrocolloids*. 122:107048.

- SALES, E.K., BUTARDO, N.G., PANIAGUA, H.G., JANSEN, H., DOLEZEL, J., MINDANAO, S., MEXICO-VERACRUZ, K.C., BATAN, E. 2011. Assessment of Ploidy and Genome Constitution of Some *Musa Balbisiana* Cultivars Using DArT Markers. *Philipp. J. Crop Sci.* 36:11-18.
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, J.A., ECHEVERRIA, C., LESCANO, L., LINARES, G., ARTEAGA-MIÑANO, H.L., SORIANO-COLCHADO, J., BARRAZA-JÁUREGUI, G. 2019. Physico-chemical, thermal and rheological characteristics of starch isolated from four commercial potatoes cultivars. *Scientia Agropecuaria*. 10(1):63-71.
- SAPPER, M., CHIRALT, A. 2018. Starch-based coatings for preservation of fruits and vegetables. *Coatings*. 8(5):152.
- SARAGIH, B. 2013. Analisis mutu tepung bonggol pisang dari berbagai varietas dan umur panen yang berbeda. *Jurnal TIBBS Teknologi Industri Boga dan Busana*. 9(1):22-29.
- SCOTT, G. J. 2020. A review of root, tuber and banana crops in developing countries: past, present and future. *International Journal of Food Science & Technology*.
- SETYOPRATOMO, P., FATMAWATI, A., SAVITRI, E., SUTRISNA, P. D., ALLAF, K. 2019. Impact of instant-controlled pressure drop treatment on thermal properties and microbial decontamination of banana flour. *EXPLORING RESOURCES, PROCESS AND DESIGN FOR*

SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT: Proceedings of the 5th International Conference on Engineering, Technology, and Industrial Application (ICETIA) 2018.

- SHITTU, R., LASEKAN, O., KARIM, R. 2016. Almidón de plátano: microestructural, físicocaracterísticas químicas y morfológicas de dos cultivares cultivados en Malasia. *Almidón Staerke*. 68(11-12):1187-1195.
- SULBARÁN, A., MATIZ, G. E., BAENA, Y. 2018. Acetilación del almidón de millo (*Pennisetum glaucum*) y evaluación de su aplicación como posible excipiente. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 47(2), 255-276.
- SURENDRA BABU, A., MOHAN NAIK, G. N., JAMES, J., ABOOBACKER, A. B., ELDHOSE, A., & JAGAN MOHAN, R. 2018. A comparative study on dual modification of banana (*Musa paradisiaca*) starch by microwave irradiation and cross-linking. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 2209–2217.
- SYAFRI, E., SUDIRMAN, MASHADI, YULIANTI, E., DESWITA, ASROFI, M., ABRAL, H., SAPUAN S., ILYASE R., FUDHOLI A. 2019. Effect of sonication time on the thermal stability, moisture absorption, and biodegradation of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) nanocellulose-filled bengkuang (*Pachyrhizus erosus*) starch biocomposites. *Journal of Materials Research and Technology*.
- THANYAPANICH, N., JIMTAISONG, A., RAWDKUEN, S. 2021. Functional Properties of Banana Starch (*Musa spp.*) and Its Utilization in Cosmetics. *Molecules*. 26(3637).

- TIAN, Y., LI, Y., XU, X., JIN, Z. 2011. Starch retrogradation studied by thermogravimetric analysis (TGA). *Carbohydrate Polymers*. 84(3):1165-1168.
- TORRUCO-UCO, J., BETANCUR-ANCONA, D. 2007. Physico-chemical and functional properties of makal starch. *Food Chemistry* 101: 1319-1326.
- TRIBESS, T, HERNÁNDEZ J., MÉNDEZ M., MENEZES E., BELLO L, TADINI C. 2009. Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. *Food Sci. & Technol*. 42:1022-1025.
- UTRILLA-COELLO, R.G., RODRÍGUEZ-HUEZO, M.E., CARRILLO-NAVAS, H., HERNÁNDEZ-JAIMES, C., VERNON-CARTER, E.J., ALVAREZ-RAMIREZ, J. 2014 In vitro digestibility, physicochemical, thermal and rheological properties of banana starches. *Carbohydr. Polym*. 101:154-162.
- VALERIO-DÁVILA, FRECIA. 2014. Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco (*Musa paradisiaca*). *Revista de Investigación Universitaria*. 3(2):23-28.
- VENEGAS VÁSCONEZ, D. 2017. Calorimetría diferencial de barrido. 10.13140/RG.2.2.12849.79204.
- WATERSCHOOT, J., GOMAND, S. V., FIERENS, E., DELCOUR, J. A. 2014. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch - Stärke*, 67(1-2), 14-29.

- WATTANACHANT, S., MUHAMMAD, K., MAT HASHIM, D., RAHMAN, R. A. 2003. Effect of Crosslinking Reagents and Hydroxypropylation Levels on Dual-Modified Sago Starch Properties. *Food Chem.* 80(4):463-471.
- ZHANG, P. Y., WHISTLER, R. L., BEMILLER, J. N., HAMAKER, B. R. 2004. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility -a review. *Carboh. Pol.* 59:443 - 458.
- ZHU, F. 2020. Underutilized and unconventional starches: Why should we care? *Trends in Food Science & Technology.*

IX. ANEXOS

Anexo-I. Análisis de varianza del diámetro de los gránulos de la harina y almidón de plátano observados por SEM.

▪ **Anexo-Ia:** Diámetro mayor.

| Factores de variación | Grados de libertad | Suma de cuadros | Cuadrado de la media | F calculado | P valor |
|-----------------------|--------------------|------------------|----------------------|-------------|---------|
| Tratamiento | 3 | 5330,91 | 1776,97 | 21,87 | <0,0001 |
| Error Experimental | 220 | 17875,71 | 81,25 | - | - |
| Total | 223 | 23206,63 | - | - | - |
| $R^2 = 0,23$ | C.V. = 30,08 | M.S.E. = 4,3,837 | Media = 29,965 | | |

▪ **Anexo-Ib:** Diámetro menor.

| Factores de variación | Grados de libertad | Suma de cuadros | Cuadrado de la media | F calculado | P valor |
|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------|
| Tratamiento | 3 | 1558,12 | 519,37 | 13,86 | <0,0001 |
| Error Experimental | 220 | 8243,64 | 37,47 | - | - |
| Total | 223 | 9801,76 | - | - | - |
| $R^2 = 0,16$ | C.V. = 31,53 | M.S.E. = 2,9769 | Media = 19,415 | | |

Anexo-II. Análisis de varianza de los resultados termogravimétricos de la harina y almidón de plátano.

▪ **Anexo-IIa:** Temperatura de Inicio.

| Factores de variación | Grados de libertad | Suma de cuadros | Cuadrado de la media | F calculado | P valor |
|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------|
| Tratamiento | 3 | 105,196 | 3,507 | 8,37 | 0,0075 |
| Error Experimental | 8 | 33,529 | 0,419 | - | - |
| Total | 11 | 138,725 | - | - | - |
| $R^2 = 0,7583$ | C.V. = 0,948 | M.S.E. = 0,6473 | Media = 68,32 | | |

▪ **Anexo-IIb:** Temperatura pico.

| Factores de variación | Grados de libertad | Suma de cuadros | Cuadrado de la media | F calculado | P valor |
|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------------|----------------|---------|
| Tratamiento | 3 | 25.8 | 8.6 | 87.80 | <0,0001 |
| Error Experimental | 8 | 0.784 | 0,098 | - | - |
| Total | 11 | 138,725 | - | - | - |
| $R^2 = 0,971$ | | C.V. = 0,429 | M.S.E. = 0,313 | Media = 72,934 | |

▪ **Anexo-IIc:** Temperatura final.

| Factores de variación | Grados de libertad | Suma de cuadros | Cuadrado de la media | F calculado | P valor |
|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------------|----------------|---------|
| Tratamiento | 3 | 46,209 | 15,403 | 22,13 | 0,0003 |
| Error Experimental | 8 | 5,567 | 0,696 | - | - |
| Total | 11 | 51,776 | - | - | - |
| $R^2 = 0,892$ | | C.V. = 1,064 | M.S.E. = 0,834 | Media = 78,383 | |

▪ **Anexo-IIId:** Entalpía.

| Factores de variación | Grados de libertad | Suma de cuadros | Cuadrado de la media | F calculado | P valor |
|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------------|---------------|---------|
| Tratamiento | 3 | 1,067 | 0,356 | 12,19 | 0,0024 |
| Error Experimental | 8 | 0,233 | 0,029 | - | - |
| Total | 11 | 1,300 | - | - | - |
| $R^2 = 0,82$ | | C.V. = 8,334 | M.S.E. = 0,170 | Media = 2,049 | |

Anexo-III. Análisis de varianza de los resultados de claridad de los almidones de plátano

- **Anexo-IIIa:** Porcentaje de transmitancia a 0 horas.

| Factores de variación | Grados de libertad | Suma de cuadros | Cuadrado de la media | F calculado | P valor |
|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------------|---------------|---------|
| Tratamiento | 3 | 17,666 | 5,889 | 46,70 | <0,0001 |
| Error Experimental | 8 | 1,009 | 0,126 | - | - |
| Total | 11 | 18,675 | - | - | - |
| $R^2 = 0,945$ | | C.V. = 6,495 | M.S.E. = 0,355 | Media = 5,468 | |

- **Anexo-IIIb:** Porcentaje de transmitancia a 24 horas.

| Factores de variación | Grados de libertad | Suma de cuadros | Cuadrado de la media | F calculado | P valor |
|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------------|---------------|---------|
| Tratamiento | 3 | 11,527 | 37,176 | 18,78 | 0,0006 |
| Error Experimental | 8 | 15,832 | 1,979 | - | - |
| Total | 11 | 127,359 | - | - | - |
| $R^2 = 0,876$ | | C.V. = 34,623 | M.S.E. = 1,407 | Media = 4,063 | |

- **Anexo-IIIc:** Porcentaje de transmitancia a 48 horas.

| Factores de variación | Grados de libertad | Suma de cuadros | Cuadrado de la media | F calculado | P valor |
|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------------|---------------|---------|
| Tratamiento | 3 | 112,696 | 37,565 | 74,86 | <0,0001 |
| Error Experimental | 8 | 4,014 | 0,502 | - | - |
| Total | 11 | 116,711 | - | - | - |
| $R^2 = 0,966$ | | C.V. = 21,200 | M.S.E. = 0,708 | Media = 3,341 | |

- **Anexo-III d:** Porcentaje de transmitancia a 72 horas.

| Factores de variación | Grados de libertad | Suma de cuadros | Cuadrado de la media | F calculado | P valor |
|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------------|
| Tratamiento | 3 | 115,286 | 38,429 | 80,71 | <0,0001 |
| Error Experimental | 8 | 3,809 | 0,476 | - | - |
| Total | 11 | 119,095 | - | - | - |
| $R^2 = 0,968$ | | C.V. = 20,623 | M.S.E. = 0,690 | | Media = 3,346 |

Anexo-IV. Prueba T de student para muestras pareadas de los resultados de estabilidad congelación-descongelación o sinéresis de los almidones de plátano.

| Observación | N | Media | Diferencia de medias | Diferencia de D.E. | LI (95%) | LS (95%) | T | Bilateral |
|-------------|---|-------|----------------------|--------------------|----------|----------|------|-----------|
| guayabo | 3 | 1,25 | 0,38 | 0,24 | -0,22 | 0,99 | 2,74 | 0,1114 |
| moquicho | 3 | 0,87 | - | - | - | - | - | - |

Anexo-V. Prueba T de student para muestras pareadas de los resultados de solubilidad en agua fría de los almidones de plátano.

| Observación | N | Media | Diferencia de medias | Diferencia de D.E. | LI (95%) | LS (95%) | T | Bilateral |
|-------------|---|-------|----------------------|--------------------|----------|----------|--------|-----------|
| guayabo | 3 | 2,23 | 1,92 | 0,08 | -2,12 | -1,73 | -42,55 | 0,0006 |
| moquicho | 3 | 4,15 | - | - | - | - | - | - |

Anexo-VI. Prueba T de student para muestras pareadas del análisis de capacidad de retención de agua (CRA) de los almidones de plátano.

| Observación | N | Media | Diferencia de medias | Diferencia de D.E. | LI (95%) | LS (95%) | T | Bilateral |
|-------------|---|-------|----------------------|--------------------|----------|----------|--------|-----------|
| guayabo | 3 | 0,92 | 0,28 | 0,3 | -0,36 | -0,21 | -16,15 | 0,0038 |
| moquicho | 3 | 1,2 | - | - | - | - | - | - |