

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



**“CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA, COLOR, PROPIEDADES
FUNCIONAL Y TÉRMICA DE DOS VARIEDADES DE PITUCA (*Colocasia
esculenta* L. Schott) EN TINGO MARÍA”**

TESIS

Para optar al título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Elaborado por:

TRUJILLO CCANAHUIRE, JOSÉ LUIS

TINGO MARÍA – PERÚ

2022



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; fiiia@unas.edu.pe

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional".

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 003-2022

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público en forma virtual a las 11:00 horas del día 11 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. **JOSÉ LUIS TRUJILLO CCANAHUIRE**, titulada:

“CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA, COLOR, PROPIEDADES FUNCIONAL Y TÉRMICA DE DOS VARIEDADES DE PITUCA (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) EN TINGO MARIA”.

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **APROBADO** con el calificativo de **EXCELENTE**, en consecuencia, el sustentante, queda apto para obtener el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**, de conformidad con el artículo 45º 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, 11 de febrero de 2022

Ing. Eduardo Alejandro Cáceres Almenara
Presidente

Ing. M. Sc. Raida Lourdes Matos Bustamante
Miembro

Ing. M.Sc. Victor Elvis Condori Rondán
Miembro

Dra. Elizabeth Susana Ordoñez Gómez
Asesora

Ing. M. Sc. Melchor Soria Iturri
Asesor

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

Título de la tesis : “CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA, COLOR, PROPIEDADES FUNCIONAL Y TÉRMICA DE DOS VARIEDADES DE PITUCA (*Colocasia esculenta* L. Schott) EN TINGO MARÍA”

Autor : José Luis Trujillo Ccanahuire

Asesores de tesis : Dra. Elizabeth S. Ordoñez Gómez
Ing. Msc. Melchor Soria Iturri

Programa de investigación : Ciencias y Tecnología de Alimentos

Línea de investigación : Ciencias y Tecnología de Alimentos

Eje temático : Nutrición y Alimentos Funcionales

Lugar de ejecución : Laboratorio Central de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva

Duración : Inicio: Diciembre - 2020
Termino: Diciembre - 2021

Financiamiento : Propio

Tingo María – Perú

2022



Bach. Jose Luis Trujillo Ccanahuire
Tesisista



Dra. Elizabeth S. Ordoñez Gómez
Asesora

DEDICATORIA

A **Dios** por concederme la vida, bríndame sabiduría para gestionar cada obstáculo que se presentó y fuerza para no rendirme en ningún momento, durante mi formación profesional y en el trayecto de vida.

En memoria de mi amada madre **María Salome Ccanahuire Ccoto** por su amor, consejos y ser mi motivación. A mi prima **Marianella Trujillo Márquez** por ser mi guía y las enseñanzas compartidas. Mi eterna gratitud.

A mis hermanos **Manuel, Liliana, Maribel y Katherine** por su cariño, paciencia y apoyo. A mi padre **Jonás Trujillo Bravo** por su apoyo.

AGRADECIMIENTO

- A mis padres, por su esfuerzo, apoyo y guía durante estos años.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por darme la oportunidad de formarme profesionalmente y a la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, especialmente a los docentes quienes compartieron sus conocimientos, necesarios para mi desempeño 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. M. Sc. Melchor Soria Iturri, por su apoyo y recomendaciones en los diseños de análisis.
- Al Ing. Darlym Reátegui Díaz, Ing. León Arévalo, Aurelia Isabel, técnico Yacha Melgarejo Celedonio y Bach. Christopher Abel Del Águila Meléndez por su apoyo, conocimiento y amistad durante la ejecución de este estudio.
- A los miembros del Jurado: Ing. Eduardo Alejandro Cáceres Almenara, Ing. M. Sc. Raida Lourdes Matos Bustamante e Ing. M. Sc. Victor Elvis Condori Rondán por las correcciones del informe de tesis y consejos brindados.
- A mis amistades por su apoyo moral e incondicional y compañerismo durante la ejecución de esta investigación y en la etapa universitaria.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Aspectos Generales	3
2.1.1. La pituca (<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott)	3
2.1.2. Origen	3
2.1.3. Clasificación taxonómica	4
2.1.4. Variedades de pituca	5
2.1.5. Composición química de la pituca	5
2.2. Aspectos generales del almidón	5
2.2.1. Composición del almidón	6
2.2.2. Productos derivados del almidón	7
2.2.3. Gelatinización del almidón	7
2.2.4. Almidón de pituca	8
2.3. Propiedades funcionales del almidón	9
2.3.1. Contenido de amilosa/amilopectina	10
2.3.2. Capacidad de hinchamiento	11
2.3.3. Capacidad de absorción de agua	12
2.3.4. Retrogradación	13
2.3.5. Sinéresis en refrigeración y congelación	14
2.4. Calorimetría	16
2.4.1. Termogravimetría (TGA)	17

	Página
2.4.2. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	18
2.4.2.1. Principio de la calorimetría diferencial de barrido (DSC)	18
2.4.2.2. Diseños de DSC	19
2.4.2.3. Calibración de DSC	19
2.4.2.4. Muestras y referencia	20
2.5. Color en los alimentos	20
2.5.1. El color	21
2.5.2. Cie L*a*b*	22
2.6. Microscopia electrónica de barrido	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. Lugar de ejecución	26
3.2. Materia prima	26
3.3. Materiales, equipos y reactivos	28
3.3.1. Materiales	28
3.3.2. Equipos	28
3.3.3. Reactivos y solventes	29
3.4. Métodos de análisis	29
3.5. Metodología experimental	30
3.5.1. Recolección de muestra	30
3.5.2. Obtención del almidón	30
3.5.3. Caracterización morfológica del almidón de pituca (morada y blanca)	31

3.5.4. Caracterización de color del almidón de pituca (morada y blanca)	31
3.5.5. Evaluación de las propiedades funcionales del almidón de pituca (morada y blanca)	32
3.5.5.1. Capacidad de retención de agua (CRA)	32
3.5.5.2. Solubilidad en agua fría (S)	32
3.5.5.3. Sinéresis de estabilidad al congelamiento (Si)	33
3.5.6. Determinación del comportamiento térmico del almidón de pituca (morada y blanca)	34
3.5.6.1. Análisis de estabilidad térmica por termogravimetría (TGA/DTG)	34
3.5.6.2. Análisis de gelatinización por calorimetría diferencial de barrido (DSC)	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. Caracterización morfológica del almidón de pituca (morada y blanca)	36
4.2. Caracterización de color del almidón de pituca (morada y blanca)	40
4.3. Evaluación de las propiedades funcionales del almidón de pituca (morada y blanca)	44
4.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA)	45
4.3.2. Solubilidad en agua fría (S)	46

	Página
4.3.3. Sinéresis de estabilidad al congelamiento (Si)	47
4.4. Determinación del comportamiento térmico del almidón de pituca (morada y blanca)	49
4.4.1. Análisis de estabilidad térmica por termogravimetría (TGA/DTG)	49
4.4.2. Análisis de gelatinización por calorimetría diferencial de barrido (DSC)	54
V. CONCLUSIONES	58
VI. RECOMENDACIONES	59
VII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	60
VIII. ANEXOS	77

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Composición química de los cormos de <i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott	5
2. Caracterización morfológica del almidón de pituca (morada y blanca) por microscopía electrónica de barrido	37
3. Parámetros de color del almidón en dos variedades de pituca	44
4. Evaluación de las propiedades funcionales del almidón de pituca (morada y blanca)	44
5. Resultados TGA / DTG de almidón extraído de pituca morada y blanca	50
6. Resultados de gelificación en almidón de pituca morada y blanca	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Curva de descomposición térmica	18
2. Modelo CIELab	23
3. Estructura de los gránulos de almidón de distintas especies obtenidas por SEM.....	24
4. Pituca Morada	27
5. Pituca Blanca	27
6. Micrografía SEM en almidón de pituca morada (a-1450X; b-4200X y c- 8600X)	38
7. Micrografía SEM en almidón de pituca blanca (a-1700X; b-4400X y c- 7800X)	39
8. Resultados TGA / DTG de almidón extraído de pituca morada y blanca	50
9. DTG de almidón extraído de pituca morada y blanca	53
10. Curva DSC en almidón de pituca morada y blanca	55

RESUMEN

La pituca tiene un corno central comestible con 27 % de almidón, la escasa información para su uso como producto sustituto a los almidones convencionales en la industria alimentaria y no alimentaria, genera la necesidad de plantear estudios como la caracterización morfológica, color, propiedades funcional y térmica de dos variedades de pituca (*Colocasia esculenta* L. Schott) en tingo maría. Se extrajeron almidones de la variedad morada y blanca seguido de la caracterización morfológica con un microscopio electrónico de barrido (SEM); el color mediante un colorímetro de triestímulo CIELAB; las propiedades funcionales analizadas fueron capacidad de retención de agua, solubilidad en agua fría y sinéresis de estabilidad al congelamiento y para el comportamiento térmico se aplicó la termogravimetría (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC). La morfología de ambas variedades mostró forma poligonal con cavidades céntricas con mayor tamaño de gránulo para la pituca morada (2,58 μm) que la blanca (2,31 μm). El color del almidón de pituca morada alcanzo mayor índice de blancura (WI 91,10) comparada a la variedad blanca (WI 90,30). Ambas variedades tuvieron similar capacidad de retención de agua y sinéresis, pero mayor solubilidad para la variedad blanca (3,20%) respecto a la morada (1,33%). El TGA mostró la mayor estabilidad térmica para la variedad morada (138,98 – 258,26 °C) que la blanca (132,77 – 229,58 °C). El DSC obtuvo mayor temperatura y rango de gelificación en la variedad blanca (R = 11,86 °C y Tp 81,47) respecto a la morada (R=8,32 °C y Tp 78,59°C).

Palabras Clave: Michucsi, pituca, *Colocasia esculenta*.

ABSTRACT

Taro has an edible central corm with 27% starch. The scarce information regarding its use as a product to substitute the conventional starches in the food and non-food industries generate the need to propose studies regarding the characterization of the morphology, color, and functional and thermic properties for the two varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) in Tingo Maria, Peru. Starches were extracted from the purple and white varieties, followed by the morphological characterization with a scanning electron microscope (SEM) and [an evaluation] of the color through the use of a CIELAB tristimulus colorimeter. The functional properties that were analyzed were the capacity for water retention, solubility in cold water, and the thermal syneresis when frozen. For the thermic behavior, a thermal gravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry were done (DSC). The morphology of both varieties showed a polygon shape with central cavities, where the purple taro (2.58 μm) had a greater granule size than the white taro (2.31 μm). A greater whiteness index was achieved from the color of the purple taro starch (WI 91.10), when compared to the white variety (WI 90.30). Both varieties had similar capacities for water retention and syneresis, but the white variety had greater solubility (3.20%), with respect to the purple variety (1.33%). The TGA revealed a greater thermal stability for the purple variety (138.98 – 258.26 °C) than for the white variety (132.77 – 229.58 °C). The temperature and range of jellification obtained for the DSC was greater for the white variety (R = 11.86 °C and Tp 81.47), with respect to the purple variety (R=8.32 °C and Tp 78.59°C).

Keywords: Michucsi, taro, *Colocasia esculenta*.

I. INTRODUCCIÓN

El almidón, por sus características nutricionales y sus múltiples aplicaciones en la industria alimentaria es el carbohidrato más importante en el comercio. La utilización de almidones de fuentes tradicionales como la yuca, maíz, papa y ñame, están limitadas por sus propiedades tecno-funcionales, termo-físicas y químicas las cuales están relacionadas a la distribución de amilosa y amilopectina del gránulo de almidón, para cambiar algunas de sus propiedades se recurren a modificaciones del almidón nativo, generando mayor costo y retraso en la producción del producto. Con la tendencia a obtener polímeros biodegradables y recubridores comestibles, existe interés en almidones con alta estabilidad, resistencia a los cambios de temperatura e interacciones con el agua (**TORRES *et al.*, 2013**).

En este sentido el corno de la pituca posee alto contenido de carbohidrato con rendimiento de almidón entre 70 - 85% de materia seca, durante el almacenamiento de los cormos presenta pérdida en promedio del 30% debido a su alto contenido de humedad. Por tal motivo es necesario implementar tecnologías en la producción de almidón por su bajo costo de producción y para que puedan ser utilizados como sustitutos de los almidones convencionales en la industria alimentaria y no alimentaria (**HAMZAH y SITI, 2012**).

Para aumentar su potencial como cultivo alternativo es necesario tener la caracterización del almidón de pituca, el Perú dispone un clima propicio con las condiciones de temperatura y precipitación adecuadas para el crecimiento de la pituca (*Colocasia esculenta* (L.) Schott), destacando la región de Huánuco (**MORALES, 2012**). En nuestra zona, todavía no representan una actividad económica debido a que su producción es solo para autoconsumo. La evaluación de las propiedades tecno-funcionales, térmicas, físico-químicas, forma, tamaño y distribución del gránulo. Brindará información para las distintas aplicaciones industriales, mejorando la valoración del producto, incentivando su producción y comercialización, bajo este contexto se planteó los siguientes objetivos:

Objetivo general: Caracterización morfológica, color, propiedades funcionales y térmicas, del almidón de dos variedades de pituca (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) en Tingo María.

Objetivos específicos:

- Caracterización morfológica del almidón de pituca (morada y blanca).
- Caracterización de color del almidón de pituca (morada y blanca).
- Evaluación de las propiedades funcionales (capacidad de retención de agua, solubilidad en agua fría y sinéresis al congelamiento) del almidón de pituca (morada y blanca).
- Determinación del comportamiento térmico (estabilidad térmica y gelatinización) del almidón de pituca (morada y blanca).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aspectos Generales

2.1.1. La pituca (*Colocasia esculenta* (L.) Schott)

Es una planta herbácea tropical perdurable y nutritiva, esta mide de 1 a 2 m de altura, tiene un cormo central comestible, con forma esférica, elipsoidal o cónico, la pulpa generalmente es de color blanco, pero puede haber clones con pigmentación morada. Los cormos tienen alto contenido de almidón y fibra dietética. También contiene ácido oxálico que es compuesto orgánico usado para aliviar problemas de riñones y artritis reumática (**SÁNCHEZ y ALVARADO, 2015**).

A partir del tallo principal surgen ramificaciones secundarias, conocidas como cormelos disponiéndose de manera lateral y horizontal. La pulpa del cormelo presenta una coloración de acuerdo a la variedad (blanco, amarilla o morada) con corteza marrón intenso, los nudos presentes en la superficie del cormo son donde brotan las yemas (**ÁLVAREZ et al., 2014**).

2.1.2. Origen

Es una planta asiática distribuida en América tropical y subtropical desde Korea y Japón, de crecimiento en ambientes de selva, con precipitaciones entre 1800 a 2500 mm, temperaturas comprendidas entre 12°C a 35°C y una

alta luminosidad. Según la variedad crecen en suelos secos o bajo el agua, son perennes durante todo el año con maduración aproximadamente en 7 meses. Esta planta es poco utilizada, tiene 27% de almidón en su composición, el gránulo tiene un tamaño entre 1 a 6,5 μm , el cual facilita la digestibilidad al ser un almidón de gránulo considerado pequeño de muy buena calidad a este atributo. En Perú se le denomina como “pituca o vituca”, mientras que en otros países se le conoce con otros nombres como “malanga” en Puerto Rico, “cara” en Brasil, “ñame” en Costa Rica, “taro” en América Central (**SÁNCHEZ y ALVARADO, 2015**).

2.1.3. Clasificación taxonómica

SÁNCHEZ y ALVARADO (2015) lo clasifica de la siguiente manera:

Reino	:	Plantae
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Liliopsida
Orden	:	Alismatales
Familia	:	Araceae
Subfamilia	:	Aroideae
Tribu	:	Colocasieae
Género	:	<i>Colocasia</i>
Especie	:	<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott
Nombre Común	:	Vituca, pituca, taro, malanga, witina.

2.1.4. Variedades de pituca

Se reconoce tres variedades de pituca, “negra” quien presenta una coloración rosada en la base del limbo, “blanca” aquella que tiene como predominio el color amarillento claro y la variedad “morada” o japonesa presenta pigmentos de color morado en el cormo (**MONTENEGRO y PÉREZ, 2015**).

2.1.5. Composición química de la pituca

Esta planta contiene baja proteínas y grasas (**Cuadro 1**), con elevado contenido de carbohidratos. La pituca resulta de mayor valor alimenticio comparado a tubérculos (papa y yuca) y cereales, (**SÁNCHEZ y ALVARADO, 2015**).

Cuadro 1. Composición química de los cormos de *Colocasia esculenta* (L.) Schott.

Componentes	Porcentaje (B.H)	Porcentaje (B.S)
Humedad	74,3%	----
Proteína	1,5	5,8
Grasa	0,6	2,3
Fibra	0,9	3,5
Ceniza	1,2	4,7
Carbohidratos	21,5	83,7
Almidón(g/100g)		13,8
Ácido Oxálico(g/100g)		15,6

Fuente. ANGAMARCA (2013).

2.2. Aspectos generales del almidón

BADUI (2006), considera que desde la prehistoria este carbohidrato fue parte esencial de la dieta del hombre, la misma que tiene un gran número de

usos industriales. Es un polisacárido de reserva energética presente en cereales, tubérculos y algunas frutas. El almidón se encuentra en pequeños gránulos de distintos tamaños y formas según la especie botánica, esta característica es utilizada para la identificación del origen de los distintos almidones mediante métodos microscópicos.

Sus propiedades nutricionales, físicas y químicas de cada almidón las diferencian de otros polisacáridos. Proporcionan entre el 70 - 80% de las calorías consumidas por los humanos. En los alimentos, los almidones nativos y modificados tienen diversas aplicaciones, como agentes adhesivos, ligantes, formadores de turbidez, recubridores (películas), reforzador de estabilidad de espumas, gelificantes, para el glaseado, retención de agua, mejorador de textura, estabilizante y espesante (**FENNEMA, 2010; ÁLVAREZ *et al.*, 2014**).

2.2.1. Composición del almidón

El almidón está compuesto de amilosa y amilopectina; la amilosa es producido por la condensación de D-glucopiranosas mediante los enlaces glucosídicos α (1,4), formando cadenas lineales de 200 a 2500 unidades y el peso molecular llega hasta un millón- La amilopectina está compuesta por moléculas de glucosa de forma lineal con enlaces de tipo α (1-4) y ramificaciones de glucosa por enlace de tipo α (1-6), cuyo peso molecular es hasta 200 millones de dáltones. Generalmente, los almidones pueden contener amilosa entre 17 - 27% aproximadamente, y lo demás es amilopectina. Estos polisacáridos contribuyen en las características sensoriales y reológicas de los alimentos (capacidad gelatinización y hidratación) **BADUI (2006)**. El almidón químicamente

es una mezcla de dos polisacáridos, la forma lineal lo presenta la amilosa y la forma ramificado es para la amilopectina, ambos se asocian y forman gránulos parcialmente cristalinos. La cantidad de estos dos polisacáridos es variable y depende de la procedencia botánica del almidón (**ÁLVAREZ et al., 2014**).

2.2.2. Productos derivados del almidón

BADUI (2006), a partir del almidón se consiguen otros derivados, tales como glucosa, dextrinas y almidones modificados, estos son utilizados para la producción de una diversidad de productos alimenticios, actuando como estabilizante, espesante, encapsulante, proporcionando consistencia a las sopas, postres y relleno, como texturizante en embutidos, etc. Inclusive son empleados en industrias de productos no comestibles, en ingrediente para la preparación de tabletas, espesante de jarabes, fabricación de pegamentos vegetales con alta adhesividad, fabricación de talcos, polvos de rostro, maquillaje, entre muchas otras cosas.

2.2.3. Gelatinización del almidón

Según **BADUI (2006)**, los gránulos de almidón en agua fría son insolubles, debido a su estructura que está sumamente organizada y su buena estabilidad originada por las interacciones entre la amilosa y amilopectina; pero cuando se somete a calentamiento comienza lentamente la absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas, a medida que sigue incrementándose la temperatura hay más retención de agua y el gránulo empieza a hincharse aumentando su volumen, este fenómeno puede observarse en el microscopio, la

cual no presenta un aumento significativo en la viscosidad. A temperaturas cercanas de 65°C, el gránulo consigue su volumen máximo, pero pierde la propiedad de birrefringencia (depende de la naturaleza del almidón); si se aumenta el calor, el gránulo hinchado llega al punto de romperse dispersando la amilosa y amilopectina, generando la pérdida de la estructura original y la birrefringencia del gránulo; el cual está asociado con el incremento de la viscosidad.

Según **FENNEMA (2010)**, cuando los gránulos de almidón no han sufrido ningún daño son insolubles en agua fría, pero absorben agua de forma reversible, logrando hincharse ligeramente y cuando se secan vuelven a su tamaño original. Sin embargo, si son sometidos al calor el agua presente provoca el proceso de gelatinización, debido a la modificación de la estructura molecular en la parte interior del gránulo. La gelatinización del almidón es un proceso endotérmico y se cuantifica por calorimetría diferencial de barrido (DSC) el cual permite medir la temperatura y las entalpías de gelatinización.

2.2.4. Almidón de pituca

La digestibilidad del almidón de pituca fue estimada en un 98,8%. Debido a que los gránulos de almidón son muy pequeños; son fácilmente digeribles cuando es empleado para los alimentos. También es importante considerar la temperatura de gelificación en el procesamiento y las aplicaciones industriales. Existen informaciones que refieren que las aráceas poseen temperaturas altas de gelificación en comparación con almidones de fuente

tradicionales, esto podría permitir una gelificación combinando las partículas pequeñas con temperaturas altas.

El almidón de las aráceas puede ser usado en la alimentación de personas con problemas digestivos, debido al tamaño que posee, en comparación al de la papa. Asimismo, estas tienen sustancias mucilaginosas la cual se hincha e hidrata en el agua y puede ser utilizar como agente estabilizante para cremas y para la elaboración de coloidales **(ANGAMARCA, 2013)**.

2.3. Propiedades funcionales del almidón

Los almidones nativos vegetales poseen características importantes en sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, ya que están influenciados por la proporción de amilosa y amilopectina, incluyendo dentro del gránulo de almidón su estructura molecular. Por tal motivo, la distribución, el tamaño y forma del gránulo de almidón están relacionados con algunas de las propiedades funcionales. Además, estas propiedades pueden ser afectados por factores genéticos, edad de la planta, época de cosecha, fertilidad del suelo y precipitación, **(ACUÑA, 2012; WANG et al., 2014)**.

Es importante tener en cuenta que las propiedades funcionales como la gelatinización, índice de solubilidad, capacidad de hinchamiento, absorción de agua, sinéresis/retrogradación, capacidad emulsificante, análisis granulométrico y digestibilidad deben establecerse para el manejo del almidón en la preparación de alimentos **(LÓPEZ, 2011; WANG et al., 2014)**. La mayoría de las propiedades funcionales de un almidón, influyen en las características sensoriales, la textura

y el comportamiento durante su transformación o almacenamiento (**GARNICA et al., 2010**).

2.3.1. Contenido de amilosa/amilopectina

En los gránulos de almidón, la composición de amilosa y amilopectina son de interés, desde el punto de vista tecnológico y nutricional, estos componentes se comportan de manera muy diferentes (**KARLSSON et al., 2007**). La parte cristalina del gránulo está formado por moléculas de amilopectina y la conformación amorfa se le asocia a moléculas de amilosa (**BELITZ et al., 2009**).

Los almidones pueden ser clasificados según la proporción de amilosa/amilopectina, un almidón normal tiene aproximadamente 75% amilopectina y 25% amilosa, almidón ceroso tiene 0 a 8% amilosa y el resto amilopectina, almidón rico en amilosa tiene entre 40 a 70%. Actualmente la modificación genética ha permitido desarrollar almidones con más del 90 % de amilosa, con la finalidad de modificar algunas de las propiedades funcionales (**JANE, 2003**). Muchas propiedades funcionales del almidón se basan a la relación amilosa/amilopectina, estos dos componentes proporcionan estabilidad, fuerza y viscosidad del gel. Si el almidón es rico en amilosa forma un gel opaco y rígido en refrigeración por la retrogradación; mientras que el almidón céreo forma un gel suave, esto indica que la calidad de los productos elaborados depende del tipo de almidón (**KARLSSON et al., 2007**).

Existen otras propiedades como la gelatinización, solubilidad, pegajosidad, hinchamiento, retrogradación, recristalización, formación de

almidón resistente, digestión enzimática del gránulo, características de cocción y textura de los alimentos, resistencia al cizallamiento, extensibilidad, elasticidad, dureza, entre otras; que pueden verse afectadas por la proporción de amilosa/amilopectina, y su relación entre ellas, también puede considerarse las características del peso molecular, conformación, distribución y longitud de la ramificación **(KARLSSON *et al.*, 2007)**. Considerando estos efectos, las investigaciones reportaron que los alimentos con altos niveles de amilosa, están asociados a niveles de glucosa en la sangre más bajos y vaciado del tracto gastrointestinal más lento, comparado con almidones con bajo nivel de amilosa **(CASAGRANDE *et al.*, 2012)**.

2.3.2. Capacidad de hinchamiento

Es una medida de hidratación, que se refiere a la capacidad que posee el gránulo de almidón para aumentar su tamaño y durante el calentamiento la absorción de agua de los mismos. Esta propiedad es primordial para las aplicaciones del almidón en los procesos alimentarios (como la industria cárnica y la panificación), ya que la calidad de los productos elaborados con almidón está relacionada con la capacidad de los gránulos de atrapar el agua y aumentar su volumen. La solubilidad y los perfiles de hinchamiento están relacionados con el incremento de temperatura; este hinchamiento sucede en dos etapas. Primero, un rápido incremento entre 60 a 70 °C seguido de un ligero de despegue y un segundo hinchamiento sucede de 80 a 90 °C. Este comportamiento se puede atribuir a dos conjuntos de fuerzas de enlace internas que se relajan a diferentes temperaturas **(KOLAWOLE *et al.*, 2013)**.

El gránulo de almidón sufre cambios en un sistema acuoso dependiendo básicamente de la temperatura y la presencia de agua. Si los gránulos de almidón son calentados con exceso de agua, la estructura cristalina se altera debido al rompimiento de los enlaces de hidrógeno, por tal motivo las moléculas de agua se enlazan mediante los puentes de hidrógeno con el grupo hidroxilo las cuales están expuestos en la parte exterior de la amilosa y la amilopectina, provocando así un aumento de tamaño y la solubilidad del gránulo **(SINGH *et al.*, 2010)**. La propiedad de hinchamiento y la solubilidad proporcionan evidencia de la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de los dominios amorfos y cristalinos **(NEMTANU y BRASOVEANU, 2010)**.

2.3.3. Capacidad de absorción de agua

Es un indicador de los gránulos de almidón para saber la cantidad de agua que pueden absorber, ya que puede afectar las propiedades cuando son utilizados en los sistemas alimentarios durante el procesamiento, fabricación, almacenamiento, preparación de mezclas para galletas, queques, sopas y otro; ya que necesitan una previa hidratación y el posterior tratamiento térmico (cocción) **(MURILLO, 2014)**. Esta propiedad fisicoquímica está influenciada por la presencia de grupos hidrofílicos disponibles del almidón, el cual permite el enlace de las moléculas de agua para formar un gel **(ELTAYEB *et al.*, 2011)**. El parámetro de retención de agua se ha empleado como un buen indicador para conocer la cantidad óptima de agua necesaria para desarrollar masas sin gluten y representa el agua fuertemente retenida por el polvo **(CALLE**

et al., 2020). Las propiedades de hidratación de las harinas proporcionan una guía sobre su comportamiento durante el manejo que determinan su funcionalidad, los valores más altos ayudan a mantener la frescura de los productos durante el almacenamiento **(FALADE Y OKAFOR, 2013).**

2.3.4. Retrogradación

Cuando ocurren cambios en el almidón gelatinizado, partiendo de un estado inicial amorfo a un estado ordenado o cristalino, se le conoce como retrogradación. Esto ocurre debido a que el almidón gelatinizado no se encuentra en un equilibrio termodinámico, un ejemplo de este fenómeno es el cambio en sus propiedades reológicas (aumento de firmeza o rigidez, pérdida de la capacidad de retención de agua y aumentan con el envejecimiento). A este conjunto de cambios se le denomina retrogradación, el mismo que influye en la textura generando una disminución de la aceptabilidad en los alimentos que contienen almidón **(GUDMUNDSSON, 1994).**

Para que suceda la retrogradación se considera tres fases: primero la nucleación (formación de núcleos críticos), la segunda es denominada propagación (crecimiento de cristales a partir de los núcleos formados) y la tercera es la maduración (perfección del cristal o crecimiento lento, pero continuo). En general la tasa de cristalización depende especialmente de la velocidad de nucleación y propagación. Temperaturas cercanas a la temperatura de transición vítrea ayuda la nucleación, y temperaturas cercanas a la temperatura de fusión ayuda a la propagación. Por tanto, si la temperatura de almacenamiento del almidón gelatinizado fluctúa constantemente entre la

temperatura para nucleación y propagación, el nivel de retrogradación puede acelerarse **(ZHOU et al., 2010)**.

Durante este transcurso, los cristales que se formaron poseen estructuras de doble hélices, por las interacciones hidrofóbicas y puentes de hidrógeno, conformando las cadenas de almidón. La amilosa retrograda más rápido que la amilopectina. La formación de doble hélices en moléculas de amilosa se muestra después de la gelatinización. La retrogradación de la amilopectina es más lenta pudiendo demorarse días o semanas debido a que esta tiene una estructura ramificada. La velocidad de retrogradación puede ser influenciado por la concentración de almidón, el contenido de amilosa y la longitud de las cadenas de amilopectina; el contenido de agua del gel y temperatura de almacenamiento. Asimismo, la presencia de compuestos polares como sales, concentración de lípidos, derivados monoéster y fosfatos pueden afectar en el proceso de retrogradación. Finalmente, también se considera como variable influyente la fuente botánica del almidón **(CASARRUBIAS, 2010)**.

2.3.5. Sinéresis en refrigeración y congelación

Después de la gelatinización del almidón y almacenándose en frío, origina más asociación de tipo cristalino de amilosa, manifestándose la pérdida de agua del gel y la retracción. El agua que pierde un gel cocido y enfriado se denomina sinéresis o humedecimiento, esto sucede cuando la amilosa sufre retrogradación, es decir el gel fue formado inadecuadamente cuando fue expuestos a los ciclos de congelación-descongelación. Es decir, el agua se congela y descongela, haciendo que el agua formada por fusión de cristales de

hielo no pueda reasociarse con el almidón, siendo la amilosa la estructura más quebrantable, facilitando la pérdida de agua atrapada. Para evitar este resultado se emplean almidones modificados o almidones con amilopectina no gelificante **(VACLAVICK, 2002)**.

Si se almacena a temperaturas de congelación a un gel de almidón, podría prevenirse la retrogradación, pero cuando se somete a procesos de congelación y descongelación el gel provoca expulsión de agua (sinéresis). También la sinéresis puede producirse después de un almacenamiento en refrigeración o también después de un almacenamiento a temperatura ambiente **(SKIBSTED *et al.*, 2010)**. Un aspecto primordial de la calidad de un gel de almidón es la estabilidad y permanencia frente a la congelación-descongelación, ya que en la congelación se provoca la disociación de fases y comienza a formarse el cristal de hielo y el almidón se concentra en el líquido sobrante no congelado. Durante la descongelación el gel en muchas zonas sufre la agrupación de amilosa y amilopectina, logrando formar agregados cada vez más insolubles y los cristales de hielo tienden a derretirse formando agua que ya no es reabsorbida por el gel de almidón, debido a la estructura esponjosa que se desarrolla por la separación del agua fundida durante el descongelado **(WATERSCHOOT *et al.*, 2015)**.

La forma empleada para caracterizar la estabilidad de congelación-descongelación es medir el grado de sinéresis, no obstante, el resultado está relacionado con las condiciones experimentales como por ejemplo la aplicación de la fuerza centrífuga. Una manera alternativa para calcular la estabilidad de congelación-descongelación, es mediante un reómetro, donde los geles de

almidón son colocados después de la congelación y descongelación, y son sometidos a procesos de oscilación de pequeña amplitud a una frecuencia fija, durante el calentamiento y enfriamiento **(ELIASSON, 2006)**.

2.4. Calorimetría

Es parte de la física que se encarga de medir las variaciones de calor, ofrece un enfoque alternativo para cuantificar el proceso y la velocidad del cambio. Su versatilidad deriva cuando ocurre un cambio físico o químico, ocasiona invariablemente un cambio de calor (ΔH). La calorimetría puede detectar y cuantificar cambios en una amplia gama de materiales. Los únicos requisitos necesarios para este análisis es tener muestra representativa que ocupe el recipiente calorimétrico y con suficiente cantidad de calor detectable **(O'NEILL y GAISFORD, 2011)**. Los resultados obtenidos suelen ser difícil interpretación; en la termodinámica, el conocimiento sobre la capacidad calorífica, entalpías y temperaturas de fusión, cristalización, ebullición y transiciones de segundo orden son importantes en la caracterización de los materiales en equilibrio **(SCHICK, 2012)**.

Técnicas de análisis térmico: Abarca un conjunto de técnicas que permite cuantificar una propiedad química o física de un material (orgánico o inorgánico) en función del incremento o descenso de la temperatura durante un programa controlado. Estas técnicas tienen aplicaciones en el control de calidad de productos farmacéuticos, minerales, metales, polímeros y plásticos **(BENITO, 2014)**. Existen análisis denominados termogravimetría diferencial, donde se cuantifica las variaciones de masa respecto al incremento de temperatura o

temperatura constante a temperatura fija (modo isotérmico), dependerá del diseño del experimento **(SKOOG et al., 2001)**.

2.4.1. Termogravimetría (TGA)

Es una técnica muy utilizada para la determinación de pérdida de peso de muestras investigadas durante el calentamiento y la cinética de reacción que ocurre durante esta etapa. Se conocen como procesos térmicos que causan una pérdida de masa al material como la desorción, desgasificación, deshidratación, formación de espuma, vaporización, sublimación, descomposición, oxidación, reducción y reacciones químicas, mientras que la ganancia de masa puede estar relacionada con la adsorción o absorción, oxidación y reacciones químicas **(PIELICHOWSKA y NOWICKA, 2019)**. Los resultados se pueden graficar en unidades de masa o porcentaje en función del incremento de temperatura o tiempo (dinámico o isotérmico), a esta la curva de variación de masa **(Figura 1- a)**, para obtener las temperaturas y velocidades de descomposición u oxidación, suele derivarse la curva TGA obteniéndose la curva DTG **(Figura 1 – b) (SKOOG et al., 2001)**.

La desventaja de esta técnica es la no obtención de información química sobre los gases desprendidos por calentamiento, su capacidad de caracterización aumenta cuando se acopla a otras técnicas como la espectroscopia infrarroja o cromatografía de gases para identificar el residuo o los productos desarrollados durante el experimento **(PIELICHOWSKA y NOWICKA, 2019)**.

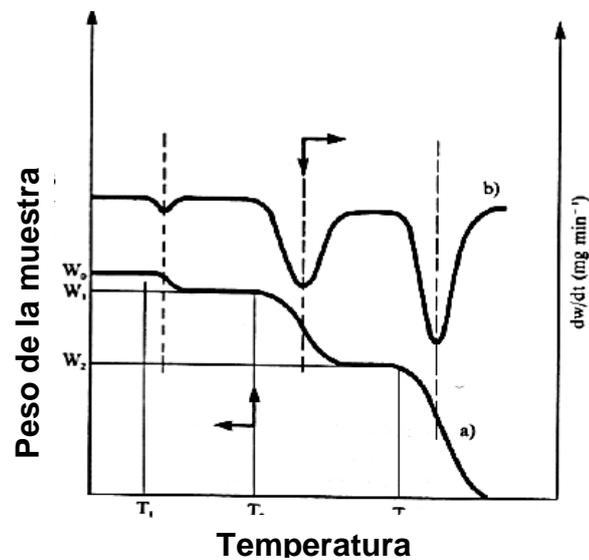


Figura 1. Curva de descomposición térmica.

2.4.2. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Esta técnica implica la medición de la transferencia de calor mediante la comparación de una muestra que contiene material de prueba con una muestra de referencia. Durante la medición, se mantiene una tasa constante de calentamiento o enfriamiento. El DSC se utiliza en la identificación de materiales poliméricos en función de sus propiedades, como el punto de fusión, la transición vítrea y la cristalización (**DRZEŹDŹON et al., 2018**)

2.4.2.1. Principio de la calorimetría diferencial de barrido (DSC)

El método consiste de dos cápsulas o recipientes del mismo material, una contiene la muestra que se analizará, la otra está totalmente vacía (cápsula de referencia). Se emplean termocuplas a través del efecto termoeléctrico registran si hay diferencias de temperatura entre el recipiente con muestra y la referencia, en caso se detecte la existencia de una diferencia entre

ellas, genera una diferencia de voltaje que puede ser convertido a unidades de calor, así se identifica si en un proceso es endotérmico o exotérmico, el equipo supe la energía necesaria para conservar la misma temperatura en ambas cápsulas. El uso de DSC en los estudios de polímeros sirve para determinar la entalpía de transición, el grado de cristalinidad, la conductividad térmica de materiales, rangos de fusión de los polímeros, la transición mesofásica, el control de calidad de las cepas y determinación de la pureza detectada (**PINEDA-GÓMEZ et al., 2010**).

2.4.2.2. Diseños de DSC

Según sistema de calentamiento, los DSC se clasifican en dos tipos:

- **DSC de flujo térmico:** Ambos recipientes, muestra y referencia se calientan en un solo horno a una velocidad lineal, transfiriéndose el calor a través de un disco termoeléctrico tanto a la muestra y referencia (**VENEGAS, 2017**).
- **DSC potencia compensada:** En este diseño el recipiente con muestra y referencia se ubican en hornos separados, manteniéndose a la misma temperatura y la diferencia de potencia térmica requerida para mantener el equilibrio térmico se calcula y grafica en función de la temperatura (**VENEGAS, 2017**).

2.4.2.3. Calibración de DSC

El calorímetro diferencial de barrido para su utilización requiere precisamente una calibración. Serán calibrados cada instrumento para obtener datos precisos de temperatura y el calor específico. Antes de la obtención de la

línea base que consiste en obtención de datos DSC con recipientes vacíos, se recomienda la eliminación de humedad del equipo. La obtención de los coeficientes usados para convertir el efecto termoeléctrico a unidades de calor (J o Cal), se emplean estándares de alta pureza con rango de temperatura y entalpía de fusión conocida generalmente se emplean metales como indio, estaño, plomo y para altas temperaturas hierro, plata, oro o platino. Es necesario un muestreo y pesado apropiado para lograr resultados precisos. **(REYNOSO y DANÓN, 2016)**.

2.4.2.4. Muestras y referencia

El área de contacto entre la muestra y el recipiente debe ser máxima, esto es posible solo cuando la forma material analizado requiera reducción, se adecua en formas de láminas, discos o polvos finos. En caso el material se deseará analizar en su forma original solo se acondicionaría al tamaño del crisol. Los crisoles o recipientes que contengan la muestra y referencia tendrán que ser del mismo material y pesos similares, para no tener error en la medición de energía, los DSC emplean crisoles con gran capacidad de conducción de calor como el aluminio, platino, cobre, alúmina, etc. con capacidad de contener de 10-100 μ L de muestra **(VENEGAS, 2017)**.

2.5. Color en los alimentos

Es una característica importante al momento de evaluar la calidad del alimento, en base a esta propiedad se identifican muchas de las características del producto; Como se sabe el color de los productos influyen en

las demás características sensoriales, ocasionando un error de expectativa en el consumidor final. Si el resultado de la prueba sensorial no es la evaluación visual, se necesitan condiciones en las que el color no provoque la elección del producto, con respecto a las evaluaciones de otras características sensoriales como sabor, olor y textura **(SIPOS et al., 2021)**.

La colorimetría de los alimentos corresponde a diferentes pigmentos, especialmente orgánicos propios de la materia prima, siendo producidos algunos durante el procesamiento y manejo del alimento como el caso de los tratamientos térmicos que producen reacciones de caramelización y Maillard, generando coloraciones que van comenzando con un ligero amarillo hasta un café intenso **(BADUI, 2006)**. La producción de varios lotes del mismo producto genera invariablemente pequeñas variaciones de color. A muchos fabricantes por contrato se les exige que produzcan un producto de color particular con coordenadas de color dentro de ciertos márgenes. Por tanto, la colorimetría es fundamental para el control de calidad **(BROADBENT, 2017)**.

2.5.1. El color

Es la única propiedad sensorial que puede medirse utilizando un instrumento con mejores resultados a la apreciación visual. No obstante, los procesos instrumentales proveen resultados rápidos, confiables y de costos accesibles, a pesar de ello, es necesario realizar la medición de color en forma visual, para un control de calidad válido **(ROMERO-BARANZINI et al., 2010)**.

La rama de la física que se encarga de estudiar esta propiedad se denomina colorimetría y tiene como objetivo la descripción numérica de colores

de tal manera que dos objetos con la misma especificación y condiciones, siempre se perciba del mismo color. Cualquier diferencia en las descripciones numéricas de dos colores similares, pero no idénticos, también debe correlacionarse con la diferencia de color real evaluada por el observador. Tal sistema de especificación de color permite una comunicación rápida y objetiva de la información de color (**BROADBENT, 2017**). La colorimetría utiliza instrumentos que miden reflectancia o transmitancia del objeto analizado. Se emplean colorímetros triestímulos o espectrofotómetros. Se recomienda homogenizar del material debido al espacio de medición resulta ser muy pequeño (aproximadamente 2 cm^2) lo que dificulta la obtención de un resultado representativo (**DELMORO et al., 2010**).

Los colorímetros utilizan la luz de una lámpara de filamento de tungsteno que funciona a una temperatura de color de 2856 K. La temperatura de color de una fuente es la temperatura de funcionamiento de un emisor de cuerpo negro ideal que genera luz con un color lo más parecido posible al de la fuente, el más común de los cuales es el iluminante CIE D65. El espacio de color CIE 1976, o como se le denomina más comúnmente, el espacio de color CIELAB (L^* ; a^* , b^*), es el sistema más utilizado para alimentos debido a su percepción uniforme del color y su percepción, que es cercana a la del ojo humano (**HORNUNG et al., 2017**).

2.5.2. Cie $L^*a^*b^*$

Según **BROADBENT (2017)**, el espacio de color CIELAB se desarrolló a partir de intentos anteriores de transformar los valores de triestímulo

X, Y y Z en coordenadas que proporcionarían un espacio de color visualmente más uniforme referente al concepto LAB. Aunque las células del ojo respondan aproximadamente a la luz roja, verde y azul, los impulsos nerviosos enviados a la corteza visual son señales en términos de luminosidad (L^*) y colores del oponente, rojo – verde (a^*) y amarillo– azul (b^*).

HORNUNG et al. (2017), menciona para este sistema tres ejes de coordenadas independientes que obtienen información sobre los tres atributos de color de luminosidad, tono y croma (**Figura 2**). La L^* representa la luminosidad, con valores que van desde 0 (negro) a 100 (blanco), este eje refleja una medida sobre la claridad o blancura del color. Los parámetros del eje a^* indica de - verde a + rojo y el eje b^* variaciones de - azul a + amarillo.

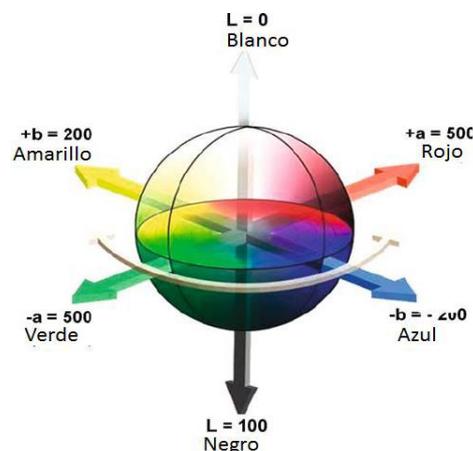


Figura 2. Modelo CIE Lab.

2.6. Microscopia electrónica de barrido

Según **KANG et al. (2013)** esta técnica conocida como SEM por las siglas “Scanning Electron Microscopy” posee diez veces más poder de resolución comparado a la microscopia de luz, pero mil veces inferior comparada a la microscopia electrónica de transmisión (TEM), La SEM obtiene ventaja de

las otras técnicas al tener mayor profundidad de campo (imágenes tridimensionales) y preparación de muestra sencilla. Además la SEM explora el área de muestra generando una imagen punto por punto concentrando electrones o con dispersión de las mismas induciendo así la aparición de electrones secundarios **(SALAS, 2014)**.

TORRENCE y BARTON (2006) mencionan la existencia de diferentes morfologías y tamaño de los gránulos de almidón como la aparición de ciertas características propias de especies nativas, presentando depresiones centrales, cavidades, anillos, estrías o rajaduras en los gránulos, etc. Esto posiblemente se deba a las variaciones genéticas a nivel de especies (familia y género de la planta). Mayormente estas características en la superficie del gránulo se forman por la acción de las enzimas y distribución de amilosa/amilopectina del gránulo **(WILSON et al., 2010)**.

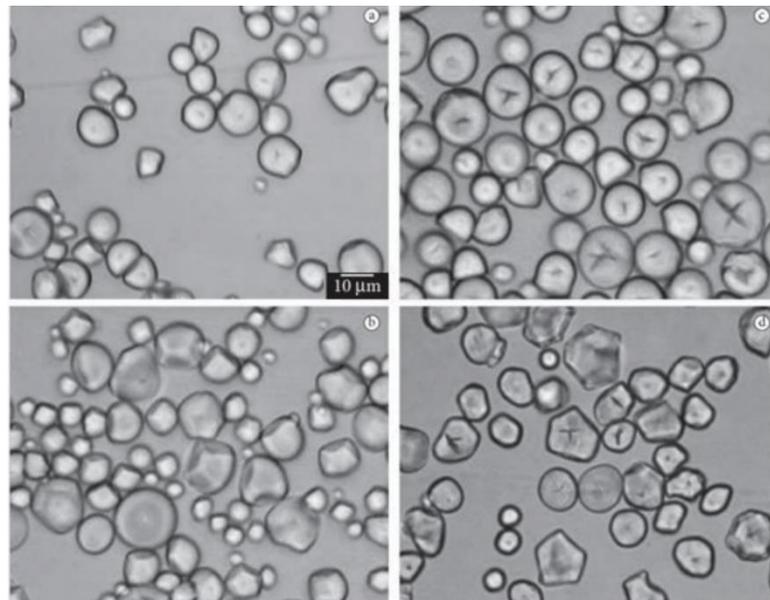


Figura 3. Estructura de los gránulos de almidón de distintas especies obtenidas por SEM **(HERNÁNDEZ-MEDINA et al., 2008)**.

Los gránulos varían de forma esférica, ovalada, poliédrica, plana, alargada, poligonal irregular y disco. Con respecto al tamaño equivalente del diámetro esta oscilan de 1 μm a 100 μm , considerándose pequeños de gránulo menores a 10 μm , mediano entre 10-25 μm y grande superior a 25 μm (**JANE, 2003**). En la **Figura 3** se puede observar la distribución morfológica y tamaño de cuatro tipos de gránulos pertenecientes a almidones comerciales. A pesar que la SEM ha permitido aumentar la idea sobre la estructura del gránulo de almidón, al ser un material de origen orgánico no presenta buena conductividad eléctrica, necesitando un recubrimiento metálico (metalizado) generalmente se emplea oro en capas de 3 nm a 50 nm para mejorar la conductividad de la muestra y así poder obtener imágenes a mayor aumento con resolución alta (**CHMELIK et al., 2001; CABALKOVA et al., 2008**).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Este estudio se realizó en el Laboratorio Central de Investigación, ubicado en el campus de la Universidad Nacional Agraria de la Selva; políticamente ubicada en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, con altitud geográfica de 660 msnm., a coordenadas UTM 390526E y 8970350N, con clima trópico húmedo; humedad relativa media anual de 84% y temperatura promedio 28°C.

3.2. Materia prima

Se obtuvieron los cormos frescos de las dos variedades de pituca blanca y morada del Centro de Investigación y Producción Tulumayo Anexo La Divisoria (CIPTALD), que está ubicado en la carretera Marginal Tingo María – Aucayacu en el km 26, situada geográficamente en las coordenadas 9°51" de longitud sur y 75°00" de longitud en el departamento de Huánuco (Perú). Para la identificación de las variedades morada (**Figura 4**) y blanca (**Figura 5**), se empleó el procedimiento citado por (**HUAMANI, 2018**), se realizó un corte transversal a los cormelos identificando el color de pulpa característico. Para cada variedad se recolectó aproximadamente 5 kg.



Figura 4. Pituca Morada



Figura 5. Pituca Blanca

3.3. Materiales, equipos y reactivos

3.3.1. Materiales

Baldes de plástico de 5 y 10 litros; coladeras de plástico; jarras de plástico de 5 y 2 litros; cuchillos de acero inoxidable; cápsulas de porcelana; crisoles de porcelana (\varnothing 5cm); mortero c/ pilón de porcelana; Tamiz Tyler N°80 (\varnothing 180 μ m); pinzas metálicas de laboratorio; soporte universal c/ pinzas; balones de vidrio 50 mL; buretas de vidrio de 10 mL y 50 mL; desecadores con silicagel; fioles de vidrio de 25 mL y 100 mL; matraz aforado de 100 y 250ml; matraz erlenmeyer 250 mL, 500 mL y 1000 mL; pipetas de vidrio 5 mL y 10 mL; placas Petri; probetas de vidrio 50 mL y 100 mL; tubos de centrífuga x 2 mL; varillas de vidrio y vasos precipitados 100 mL, 250 mL y 500 mL; peras de goma c/ 3 válvulas; termómetros de 100°C; papel whatman N° 2(\varnothing 11cm).

3.3.2. Equipos

Balanza analítica (RADWAG, AS220.R2, Polonia); estufa eléctrica (MMM Group, EC 222 ECO, Alemania); centrífuga (HETTICH, MIKRO 22 R, Alemania); refrigeradora eléctrica (LG, GR-5392QLC, Corea del Sur); mufla (Nabertherm, L312B410, Alemania); licuadora eléctrica (Oster, BLSTBC4129-053, México); baño maría (MEMMERT, WNB 22, Alemania); calorímetro (SETARAM, Labsys evo robot option, USA); purificador de agua (Evoqua, LaboStar PRO TWF, Alemania); bomba de vacío de alta presión (Pfeiffer Vacuum, Pascal 2005SD, Francia); agitador vórtex (Scientific Industries SI™, SI-0256, USA) ; Microscopio Electrónico de Barrido (Phenom-World B.V., Phenom

ProX, Países Bajos); metalizador (Leica, EM ACE200, USA); colorímetro (Konica Minolta, Chroma meters CR-400, Japón).

3.3.3. Reactivos y solventes

Bisulfito de sodio (comercial, Brenntag, Alemania); sulfato de cobre pentahidratado p.a. (Merck, Alemania); ácido benzoico p.a. (Merck, Alemania); agua destilada y desionizada.

3.4. Métodos de análisis

- Caracterización morfológica: Método desarrollado por **LIU et al. (2018)**.
- Caracterización del color: Método por **SARICOBAN y TAHSIN (2010)**.
- Análisis de capacidad de retención de agua: Método de **ASHRI et al. (2014)**.
- Análisis de solubilidad en agua fría: Se realizó mediante el protocolo de **EASTMAN et al. (1984)**.
- Análisis de sinéresis de estabilidad al congelamiento: Método de **SALGADO et al. (2018)**.
- Análisis termogravimétrico (TGA/DTG): Método de **LONDOÑO-RESTREPO et al. (2014)**.
- Análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC): Método por **JIANG et al. (2012)**.

3.5. Metodología experimental

3.5.1. Recolección de muestra

La materia prima se recolectó por la mañana, por separado para cada variedad, se transportó en cajas de madera hasta el laboratorio. Se procedió a lavar con agua corriente, se seleccionó los cormos para descartar aquellos que tuvieron daños fisiológicos y físicos **(HUAMANI, 2018)**.

3.5.2. Obtención del almidón

Se extrajo siguiendo el método descrito por **NAIDOO et al. (2015)**, los cormos de cada variedad se pelaron, cortaron en rodajas con un grosor de 3 mm, fueron secados a 50°C durante 48 h en un horno con aire caliente forzado. Las rodajas secas de pituca se molieron para obtener harina y se tamizaron en Tyler N°80 (180µm). Para la extracción del almidón se dispersó la harina en agua destilada (1:10), con agitación a temperatura ambiente durante 6 h, la dispersión se tamizó en Tyler N°80 (180 µm) y sobrenadante se dejó sedimentar a temperatura ambiente durante 24 h. Posteriormente, la suspensión se centrifugó a 14000xg por 20 min y se repitió hasta obtener un sobrenadante incoloro. El sedimento restante que representa la fracción de almidón se secó a 50°C/24 h en un horno con aire caliente forzado. El almidón fue envasado en bolsas de polipropileno, se selló y se mantuvo a 4°C en ambiente oscuro hasta su análisis.

3.5.3. Caracterización morfológica del almidón de pituca (morada y blanca)

Las morfologías de las muestras de almidón se observaron mediante un microscopio electrónico de barrido. Las muestras se fijaron al portamuestras de aluminio con una cinta de carbono luego se revistió con una película de oro para mejorar el contacto eléctrico utilizando el metalizador durante 5 minutos a un espesor de 5 nm y se obtuvieron las micrografías con un aumento de 4000x a 8000x. Se utilizó un voltaje de aceleración de 15 kV durante la obtención de imágenes (LIU *et al.*, 2018).

3.5.4. Caracterización de color del almidón de pituca (morada y blanca)

Las mediciones de color del almidón se llevaron a cabo utilizando un colorímetro sobre la base de los valores luminosidad (L^*), croma rojo-verde (a^*) y croma amarillo-azul (b^*). El instrumento se calibro con un estándar de color amarillo claro. Se colocó una celda de vidrio que contenía el almidón en polvo sobre la fuente de luz y se cubrió con una placa blanca, luego se registró los valores L^* , a^* y b^* . El índice de blancura (WI) se determinó con **ecuación 1** de (SARICOBAN y TAHSIN, 2010).

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2} \dots \text{Ecuación 1}$$

Para la comparación de L^* , a^* , b^* y WI entre los dos tratamientos se realizó una prueba “t de Student” con variables pareadas propuesto por

FLORES-RUIZ *et al.* (2017); el cálculo se realizó mediante el sistema INFOSTAT versión libre.

3.5.5. Evaluación de las propiedades funcionales del almidón de pituca (morada y blanca)

3.5.5.1. Capacidad de retención de agua (CRA)

La evaluación de la capacidad de retención de agua (CRA) se empleó el método informado por **ASHRI *et al.* (2014)**. Se preparo una suspensión de almidón/agua destilada en proporción 1:15 (w/v) seguido de una agitación durante 1 h, posteriormente se centrifugó a 3000 rpm durante 15 min. Se eliminó el sobrenadante del tubo de centrifuga dejando escurrir durante 10 minutos para luego pesar el almidón húmedo. El porcentaje de CRA se calculó usando la **ecuación 2**.

$$\% \text{ CRA} = \frac{\text{Almidón húmedo (g)}}{\text{Almidón seco (g)}} \times 100 \dots \text{Ecuación 2}$$

3.5.5.2. Solubilidad en agua fría (S)

La solubilidad se estimó según el método recomendado por **EASTMAN *et al.* (1984)** con ligeras modificaciones. Se disperso el almidón en agua en relación 1% (w/w) de almidón/agua y se agitaron a 100 rpm (agitador magnético) durante 30 minutos a temperatura ambiente (25°C), luego se centrifugo a 3500 rpm durante 10 min. El sobrenadante se vertió en una placa y se secó a 105°C durante 4 h, luego se pesaron los sólidos disueltos y la solubilidad fue expresada en porcentaje, se calculó siguiendo la **ecuación 3**.

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{\text{Sobrenadante seco (g)}}{\text{Almidón inicial (g)}} \times 100 \dots \text{Ecuación 3}$$

3.5.5.3. Sinéresis de estabilidad al congelamiento (Si)

Se empleó la metodología descrita por **SALGADO *et al.* (2018)**, con modificaciones; se prepararon suspensiones de almidón (5% w/v) en matraces de vidrio, luego se calentaron a 95°C con agitación constante durante 30 min en baño maría, seguidamente el gel obtenido fue enfriado a temperatura ambiente (26 ± 2°C) y se pesó 2 g del gel en tubos de centrifuga. Los tubos con la muestra se almacenaron a 4°C durante 24 h, luego fueron congelados a -20°C durante 48 h. Después se descongeló a temperatura ambiente durante 3 horas y se centrifugó a 4590 rpm por 15 minutos. Finalmente se pesó el agua separada (líquido sobrenadante) y se calculó el porcentaje de sinéresis usando la **ecuación 4**.

$$\% \text{ Sinéresis} = \frac{\text{Peso agua separada}}{\text{Peso gel de almidón}} \times 100 \dots \text{Ecuación 4}$$

Las pruebas de capacidad de retención de agua, solubilidad en agua fría y la sinéresis en congelamiento fueron comparadas con una prueba “t de Student” con variables pareadas propuesto por **FLORES-RUIZ *et al.* (2017)**; el cálculo se realizó mediante el sistema INFOSTAT versión libre.

3.5.6. Determinación del comportamiento térmico del almidón de pituca (morada y blanca)

3.5.6.1. Análisis de estabilidad térmica por termogravimetría (TGA/DTG)

Las propiedades térmicas del almidón se determinaron usando el método reportado por **LONDOÑO-RESTREPO *et al.* (2014)**, para el análisis termogravimétrico se utilizó un calorímetro. Se pesó aproximadamente 5mg de almidón en crisol de aluminio 75 μ L. Las condiciones instrumentales consistieron en un calentamiento desde temperatura ambiente (25°C) hasta 550°C a una velocidad de 10°C/min en un ambiente de nitrógeno, utilizando un flujo mantenido en 50 mL/min. Los datos de TGA se procesaron utilizando el software Calisto. La velocidad máxima de la reacción se determinó a través de la temperatura máxima en la curva DTG. Los análisis se realizaron por triplicado.

3.5.6.2. Análisis de gelatinización por calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Para el análisis de gelatinización por calorimetría diferencial de barrido (DSC) del almidón se empleó un calorímetro, el método utilizado fue **JIANG *et al.* (2012)**. Se pesó el almidón de cada muestra 10 mg aproximadamente, en un crisol de aluminio y se añadió agua destilada a una relación 1:3 para formar una suspensión. El crisol fue sellado y almacenado entre 25°C a 27°C durante 1 h. El calorímetro se calibro con indio y un crisol de aluminio vacío como blanco. Se programó el calentamiento desde 25 a 110°C con una velocidad de 5°C/min en ambiente inerte de nitrógeno a 30mL/min. Se

calculó la temperatura inicial (T_0), máxima (T_p), la temperatura de acabado (T_f) y la entalpía de gelatinización (ΔH_{gel}). Todas las muestras fueron analizadas por triplicado.

Se realizó el análisis estadístico solo para el DSC utilizando una prueba "t de Student" con variables pareadas propuesto por **FLORES-RUIZ et al. (2017)**; el cálculo se realizó mediante el sistema INFOSTAT versión libre.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Caracterización morfológica del almidón de pituca (morada y blanca)

El tamaño y morfología de los gránulos obtenidos por micrografías electrónicas de barrido de los almidones de pituca morada y blanca se muestran en el **Cuadro 2**. Con respecto a la vista panorámica para el almidón de pituca morada (**Figura 6a, 1450X**) presenta gránulos aglomerados característica similar al almidón de pituca blanca (**Figura 7a, 1700X**), a mayor aumento se puede diferenciar las formas que presentan los gránulos, para la morada (**Figura 6b, 4200X**) se apreciaron formas poliédricas y esféricas, similares morfologías se apreció en la blanca (**Figura 7b, 4400X**) con mayor aglomeración de los gránulos. Con respecto a la caracterización de la superficie y forma del gránulo de almidón se obtuvieron mejores micrografías a mayor aumento. La pituca morada mostró gránulos poliédricos, redondeadas y con cavidades (**Figura 6c, 8600X**) por el contrario el almidón de pituca blanca presento mayor predominancia de gránulos con formas poligonales con fisuras y cavidades (**Figura 7c, 7800X**). Con respecto a los resultados podemos indicar que se concuerda con lo reportado por **OÑATE (2018)** en los gránulos de almidón de papa china (*Colocasia esculenta* Schott) encontró formas poliédricas y esféricas. **ANDRADE et al. (2017)** indica que los gránulos de almidón de taro están ampliamente aglomerados y la forma principal es poliédrica con formas

circulares e irregulares. También, **(HAMZAH y SITI, 2012)** y **MARTINS et al. (2020)** reportaron formas redondas a poligonales y en pequeños racimos para gránulos de almidón de taro (*Colocasia esculenta* sp.). Por otro lado, **OGUNMOLASUYI et al. (2016)** en su estudio comparativo de propiedades funcionales y estructurales del almidón extraído de *Dioscorea rotundata* y *Colocasia esculenta*, menciona que el almidón de este último mostró gránulos de forma esférica, elíptica a ovalada con superficie lisa, mientras que la primera tuvo formas poligonales a variables con fisuras y cavidades. Esta diferencia en la morfología puede ser explicado por **ZHU (2016)** quien indica que la morfología del almidón de una misma especie y diversas especies pueden atribuirse a la identificación errónea de la especie correcta, el método de cuantificación y las variaciones genéticas. Así mismo, las diferencias en la forma y tamaño de los gránulos de almidón, se deben al origen biológico y factores ambientales **(ASHRI et al., 2014)**; también a las propiedades bioquímicas, fisiológicas y fisicoquímicas del almidón **(WANG et al., 2011)**.

Cuadro 2. Caracterización morfológica del almidón de pituca (morada y blanca) por microscopía electrónica de barrido.

Almidón	Forma de los gránulos	Distribución del tamaño de los gránulos	
		Rango (μm)	Gránulo media (μm)
Morada	Poligonales, redondeadas y con cavidades	1,78 – 4,53	2,58
Blanca	Poligonales, con fisuras y cavidades	0,96 – 5,45	2,31

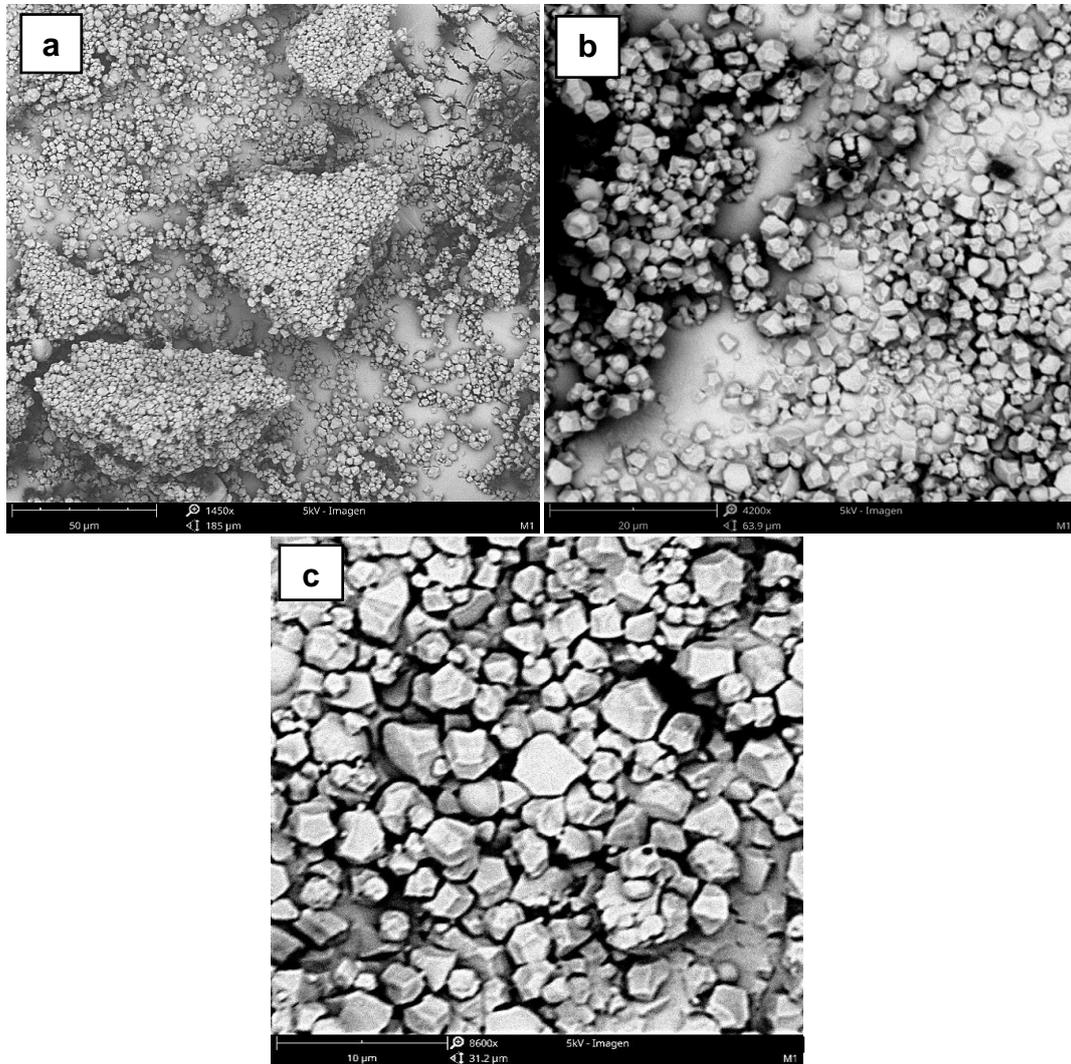


Figura 6. Micrografía SEM en almidón de pituca morada (a-1450X; b-4200X y c-8600X).

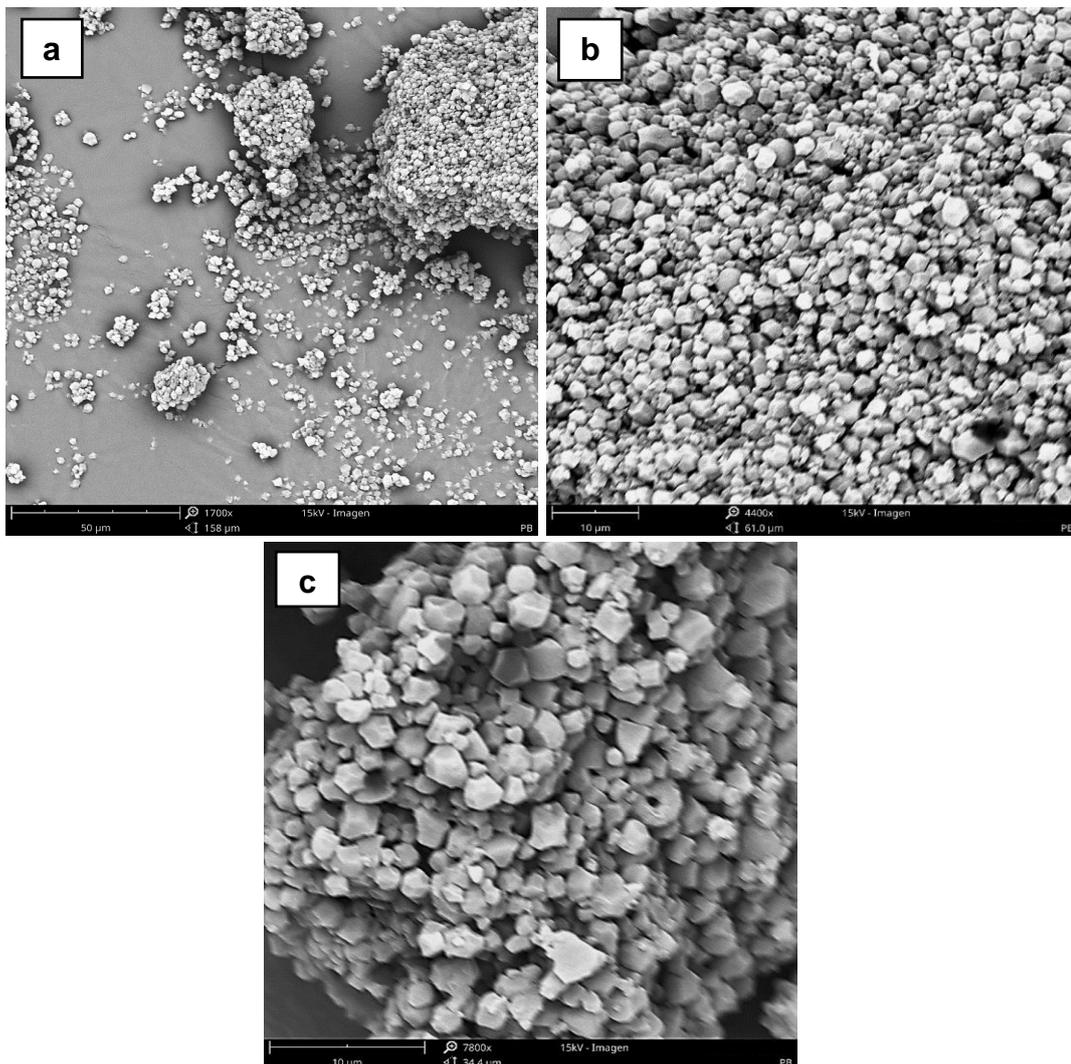


Figura 7. Micrografía SEM en almidón de pituca blanca (a-1700X; b-4400X y c-7800X).

Con respecto al tamaño del gránulo de almidón de pituca morada tuvo un rango 1,78 a 4,53 μm ; y un promedio de 2,58 μm siendo superior al almidón de pituca blanca quien tuvo un rango 0,96 hasta 5,45 μm y promedio de 2,31 μm . Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por **(HAMZAH y SITI, 2012)** y **BARRETO *et al.* (2012)** quienes informaron que los tamaños de los gránulos de taro tuvieron un rango de 1,0 y 6,6 μm e inferiores a 10,2 μm .

Las diferencias de tamaño promedio de gránulo puede atribuirse a lo reportado por **ZHU (2016)** quienes indican que el tamaño de los bulbos de *C. esculenta* afectan el tamaño de los gránulos, bulbos grandes demostraron un tamaño de gránulo más pequeño (1,3 μm) y bulbos pequeños gránulos grandes (2,1 μm). A su vez **LONDOÑO-RESTREPO et al. (2014)** indica que el tamaño, así como las propiedades físico-químicas de un almidón determinado, dependen de las prácticas agrícolas agronómicas, la temporada de cosecha y las especies de plantas. El tamaño de los gránulos también influye en las propiedades de gelatinización tal como lo indica **SIT et al. (2014)** el hinchamiento de los gránulos grandes fue mayor en comparación con los gránulos más pequeños de almidón de taro y **ABOUBAKAR et al. (2008)** indicaron un tamaño entre 3 y 20 μm del almidón de taro tuvo mejor digestibilidad en alimentos destinados para niños y personas mayores.

4.2. Caracterización de color del almidón de pituca (morada y blanca)

El color es una característica importante para determinar la calidad del almidón, los índices de color L^* , a^* , b^* y blancura (WI) del almidón de pituca de las variedades morada y blanca se muestran en la **Cuadro 3**. En general, los almidones presentaron alta luminosidad y blancura (L^* y WI), valores bajos de a^* y b^* que confirman la alta pureza de los almidones.

Los resultados de luminosidad L^* se presentan en el anexo **A-1a** con un 95% de confianza se puede afirmar que existe diferencia significativa ($P < 0,05$) entre las variedades morada y blanca conforme a los resultados de la prueba T de Student. Para la morada el valor de L^* fue $99,72 \pm 0,13$ mayor que

la blanca L* en $96,43 \pm 0,08$; según el reporte de **ABOUBAKAR et al. (2008)** en almidón de taro *Colocasia esculenta* indica un rango de L* 83 a 94, dicho rango fue inferior a lo reportado en la investigación; pero el reporte fue similar a lo citado por **HIMEDA et al. (2012)** L* 98,43 – 98,85 en almidón de taro en diferentes estados de madurez. Las diferencias en los parámetros de color tanto visual como de medición objetiva en los dos almidones pueden deberse a la variación genética, el clima y los factores agronómicos (**FALADE et al. 2013**).

El croma a* determina la variación del color en la escala de verde (-60) a rojo (+60), según los resultados del anexo **A-Ib** con un 95% de confianza se puede afirmar que existe diferencia significativa ($P < 0,05$) entre las variedades morada y blanca conforme a los resultados de la prueba T de Student. La variedad morada tuvo un valor a* $-0,59 \pm 0,01$ y la blanca a* $0,29 \pm 0,02$ esto permite indicar que no hay predominancia del croma verde ni del rojo. Como lo reporta **PEÑA (2017)** en su estudio de almidón extraído de cinco variedades de papa nativa, indica valores de a* en el intervalo de -0,12 y -0,30; estos valores negativos de a*, indican tendencia a un color neutro por estar cercano al valor de cero. Según **ABOUBAKAR et al. (2008)** indica valores de a* entre 1,5 a 5,7 y **SIT et al. (2014)** en su estudio de caracterización de color en almidones de dos variedades diferentes de taro el rango de a* fue 1,7 a 2,0; al respecto se puede indicar que los valores del croma a* de la investigación fueron inferiores a los reportes; esto podría deberse a lo citado por **DEKA y SIT (2016)** donde el cambio de color de los almidones tratados con horno de aire caliente facilitó la reacción de Maillard y esto podría atribuirse a la temperatura y tiempo de secado. Así mismo; **ABOUBAKAR et al. (2008)** indica una correlación positiva entre las

proteínas o carbohidratos y a * ($r= 0,44$) mostrando que la composición de la harina de taro tiene algún efecto sobre su color.

El croma b^* cuya escala describe la variación de azul (-60) a amarillo (+60), los resultados se presentan en el anexo **A-Ic** con un 95% de confianza se puede afirmar que no existe diferencia en b^* ($P>0,05$) entre las variedades morada y blanca conforme a los resultados de la prueba T de Student, para el almidón de la morada fue $8,87 \pm 0,04$ y para la blanca $8,92 \pm 0,05$ estos resultados se encuentran en el rango reportado por **ABOUBAKAR et al. (2008)** b^* 3,0 a 13,8, pero es superior a lo citado por **HIMEDA et al. (2012)** b^* 3,37 – 4,64 y **SIT et al. (2014)** b^* 2,7-4,8. Este comportamiento puede ser justificado por **KAUSHAL et al. (2012)**, en su estudio de la malanga (*Colocasia esculenta*), ha atribuido que la variación en b^* entre las muestras puede deberse a la cantidad de contenido de carbohidratos y proteínas debido a su papel en el desarrollo del pardeamiento no enzimático. Así mismo **DÍAZ et al. (2016)**, menciona que los valores bajos de b^* cuando se asocian con alta luminosidad están relacionados con características de color deseables para la aceptación del almidón.

El índice de blancura (WI) muy usada en el control de calidad en la industria textil, cerámica, plástica, papel y se ha extendido a la de medicamentos, y alimentos. Un índice de blancura en 100 será ideal para una superficie blanca; la disminución de este valor significará una mayor diferencia entre el blanco ideal y el de la superficie que se evalúa (**MONTOYA et al., 2012**). Los resultados de índice de blancura WI se presentan en el anexo **A-Id** con un 95% de confianza se puede afirmar que existe diferencia significativa ($P< 0,05$) entre las variedades

morada y blanca conforme a los resultados de la prueba T de Student. Para la pituca morada alcanzo WI en $91,10 \pm 0,04$ mayor a lo obtenido por la blanca $90,39 \pm 0,06$. Concordando con **(BARRAZA y SICHE, 2021)** en su estudio de almidón de semilla de palta indican un índice de blancura (WI) entre 90,86 – 95,33 a su vez este resultado es inferior a lo reportado por **HIMEDA et al. (2012)** indica WI (94.95 - 96.00) en almidón de taro en diferentes estados de madurez. **CASTILLO (2017)**, reporta WI entre 60,75 – 67,81 en almidón extraído de 3 variedades de papa nativa (*Solanum spp.*) Con respecto al índice de blancura global de los almidones estudiados que vario entre 90 y 91, **HIMEDA et al. (2012)** menciona que valores superiores a 94 indicaría un buen color de almidón. Por su parte **SIT et al. (2014)** y **(BARRAZA y SICHE, 2021)** estimaron que un valor superior a 90 refleja alta pureza del almidón aislado; la utilización de esta característica se recomienda en la industria de alimentos para estandarizar el color del producto.

El color de los almidones de pituca morada y blanca muestran buena calidad con respecto a L^* , a^* , b^* y WI; Por su parte **CALLE et al. (2020)** destaca que los pigmentos de color natural en la harina de *Colocasia spp.* afectan las características de color de los productos finales. Así mismo, **SÁNCHEZ (2004)** menciona que la muestra evaluada tiene color blanco cuando los parámetros a^* y b^* tienden a cero y **(GUO et al., 2019)** menciona que el color del almidón es importante en las aplicaciones alimentarias donde este atributo es índice de calidad.

Cuadro 3. Parámetros de color del almidón en dos variedades de pituca.

Almidón	L*	a*	b*	WI
Morada	99,72 ± 0,13 ^a	-0,59 ± 0,01 ^b	8,87 ± 0,04 ^a	91,10 ± 0,04 ^a
Blanca	96,43 ± 0,08 ^b	0,29 ± 0,02 ^a	8,92 ± 0,05 ^a	90,39 ± 0,06 ^b

Los valores representan (Media ± SEM) datos provenientes del experimento (n=3). Valores de una misma columna con superíndices diferentes son significativos ($p < 0.05$) según la prueba T de Student.

4.3. Evaluación de las propiedades funcionales del almidón de pituca (morada y blanca)

La importancia de las propiedades funcionales destaca en el posible uso tecnológico que pueda atribuirse al almidón, así como el cambio que genera en las propiedades tecnológicas al ser incorporados en algún producto. Se evaluó la capacidad de retención de agua (CRA), solubilidad en agua fría (S) y sinéresis de estabilidad a la congelación (Si). Los resultados obtenidos se encuentran en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4. Evaluación de las propiedades funcionales del almidón de pituca (morada y blanca).

Propiedades	Almidones		P - valor
	Morada (%)	Blanca (%)	
Capacidad retención de agua (CRA)	131,50 ± 4,02	142,18 ± 3,25	0,2522
Solubilidad en agua fría (S)	1,33 ± 0,21	3,20 ± 0,12	0,0045
Sinéresis de estabilidad al congelamiento (Si)	6,92 ± 1,22	6,24 ± 1,13	0,6637

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

4.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua es un parámetro importante que permite establecer la funcionalidad de la pasta cuando el almidón está sometido a un proceso de cocción, además que establece la capacidad de emulsificar y formar geles, dentro de la formulación de un producto alimentario **(HERNANDEZ-MEDINA et al., 2008)**. Los resultados de capacidad de retención de agua (CRA) se presentan en el anexo **A-IIa** con un 95% de confianza se puede afirmar que no existe diferencia significativa ($P > 0,05$) entre las variedades morada y blanca conforme a los resultados de la prueba T de Student. Para la blanca presento valores ligeramente mayores con 142,18% (1,42 mL/g) a comparación de la morada en 131,50% (1,32 mL/g). Los valores obtenidos fueron mayores que lo reportado por **ARINOLA (2019)** en su estudio de propiedades fisicoquímicas de almidones de cocoyam (*Colocasia esculenta*), indica valores de 100% (1 mL/g) para las variedades blanca y roja. Caso contrario sucedió con el reporte de **OJINAKA et al. (2009)** quien indica valores de absorción de agua entre 1,23 - 1,67 mL/g para almidón de cocoyam. Por otro lado, se reconoce que la temperatura influye en la capacidad de retención de agua tal como cita **CUENCA y MONCADA (2020)** quienes indican valores de CRA en 219% a 50°C en almidón de papa china (*C. esculenta*) y **HURTADO (2019)** informa para almidón extraído de la papa china (*C. esculenta*) cultivada en el pacífico colombiano 280,3 y 391,7% a 60°C.

Las diferencias encontradas pueden deberse a lo reportado por **RÍOS (2014)** en su análisis comparativo de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*C. antiquorum* y *C. esculenta*) refiere un aumento en la

capacidad de absorción de agua proporcional al aumento de temperatura. **LALALEO (2017)** añade que el almidón al superar los 70°C producirá una gelatinización debido a la ruptura de los puentes de hidrógeno, facilitando la unión de las moléculas al grupo hidroxilo y consecuentemente a la expansión del gránulo del almidón. Las diferencias de CRA en las variedades puede deberse a lo informado por **AMON et al. (2014)** que refiere la presencia de una mayor cantidad de constituyentes hidrófilos (polisacáridos) en los cormos de *Colocasia spp.*

4.3.2. Solubilidad en agua fría (S)

Es la capacidad que tiene el almidón de reaccionar con el agua y disolverse en ella, indicando el grado de asociación existente (enlace intragranular) entre la amilosa y amilopectina del almidón (**ARAUJO et al., 2004**). Los resultados de solubilidad en agua fría (25°C) se presentan en el anexo **A-IIb** con un 95% de confianza se puede afirmar que existe diferencia significativa ($P < 0,05$) entre las variedades morada y blanca conforme a los resultados de la prueba T de Student. Obteniendo mayor porcentaje de solubilidad el almidón de pituca blanca ($3,20 \pm 0,12\%$) en comparación al almidón de pituca morada ($1,33 \pm 0,21\%$). Los resultados coinciden con **HUAMANI (2018)** en su estudio de caracterización del almidón de dos variedades de pituca (*C. esculenta*), indicando valores en 2,79% - 3,85% de solubilidad en agua. (**ALVIS et al., 2008**) reporta en almidón de ñame 1,25 a 2,79%, en yuca entre 2,60 a 3,70% y en papa fue del 2,97 %. Por otro lado, una mayor solubilidad se encuentra cuando se incrementa la temperatura tal como indica **CUENCA y MONCADA (2020)** en

almidón de *C. esculenta* a 50°C fue 0,64% y 80°C fue 8,22%, y **TORRES et al. (2013)** en papa china de la variedad blanca y morada a 60°C tuvo un rango de 12,8 y 23,07%.

El comportamiento reportado puede deberse a lo informado por **CUENCA y MONCADA (2020)** que sostiene que las temperaturas altas, el mayor contenido de amilopectina y el menor tamaño del gránulo de almidón, generan que las moléculas faciliten el ingreso del agua aumentando la solubilidad de los polímeros. **WANG et al. (2018)** señala que el grado de solubilidad en agua podría indicar el grado de destrucción de los componentes de los almidones, que comprendía el tamaño de la molécula, la cristalinidad y la proporción de amilosa y amilopectina. Finalmente, **RAFIQ et al. (2014)** señala que la solubilidad del almidón es provocada por la lixiviación de amilosa, que segrega y dispersa los gránulos de almidón durante el hinchamiento del gránulo.

4.3.3. Sinéresis de estabilidad al congelamiento (Si)

Las variaciones térmicas y los posteriores cambios de fase del agua en el almacenamiento de la cadena de frío son las principales causas de degradación en los alimentos congelados, especialmente en la matriz de gel del almidón. La reorganización de las moléculas de almidón durante el almacenamiento en frío dará como resultado la liberación de agua (o sinéresis), que puede influir en las propiedades funcionales de la viscosidad y el comportamiento del gel (**GUPTA et al., 2021**). Los resultados de sinéresis se presentan en el anexo **A-IIc**, con un 95% de confianza se puede afirmar que no existe diferencia en la sinéresis ($P>0,05$) de las variedades morada y blanca

conforme a los resultados de la prueba T de Student. Para la morada obtuvo $6,92 \pm 1,22\%$ y la blanca $6,24 \pm 1,13\%$. Los resultados son superiores a lo reportado por **HUAMANI (2018)** indicando para 05 días de almacenamiento del gel congelado, no encontró liberación de agua (sinéresis) significativa para las dos variedades de almidón de pituca blanca y morada. A su vez los resultados concuerdan con **DIAZ (2015)** en su estudio con almidón de *Solanum tuberosum* ssp. *andigenum* (papa nativa) de cuatro variedades indica sinéresis entre 0,1-15,7% el primer día y 0-7,93% el segundo día. Además, **HERNANDEZ-MEDINA, et al. (2008)** indica sinéresis en almidón de camote en 2,17 – 7,73% y yuca en 0 – 3,2% durante 5 días a temperatura de almacenamiento entre 4 a -10°C. Por otra parte, los resultados son inferiores a lo indicado por **OLIVEIRA et al. (2021)** en almidón de ñame (*Dioscorea alata* L.) mostró 27,39% de exudación de agua después de 10 días de almacenamiento refrigerado.

Las diferencias encontradas pueden deberse a lo informado por **LIU et al. (2019)** quienes reportan que el tratamiento de congelación-descongelación reduce el porcentaje de sinéresis, permitiendo que las moléculas de agua queden atrapadas en la estructura cristalina de amilosa-amilopectina, lo que dificultaba la salida del agua. **DEKA y SIT (2016)** añaden que los enlaces hidroxilo que podrían contener más agua podrían haberse expuesto durante la disposición de las cadenas de amilosa-amilopectina y haber evitado la sinéresis. A su vez **MARBOH et al. (2020)** añade, que una elevada capacidad de adsorción de agua conduce a una sinéresis más baja y, por lo tanto, una mejor estabilidad de congelación y descongelación.

Por otra parte, **WANG *et al.* (2021)** añade que la gelatinización cambia la estructura del almidón, lo que resulta en una mayor separación del agua de algunos almidones después del ciclo de congelación-descongelación. Una menor sinéresis indicó la estabilidad del almidón para resistir los cambios físicos durante el tratamiento de congelación-descongelación (**LIU *et al.*, 2019**). A su vez **HERNANDEZ-MEDINA *et al.* (2008)** añade que almidones con baja sinéresis, pueden ser utilizados en la industria alimentaria como rellenos de pasteles, alimentos infantiles y sopas.

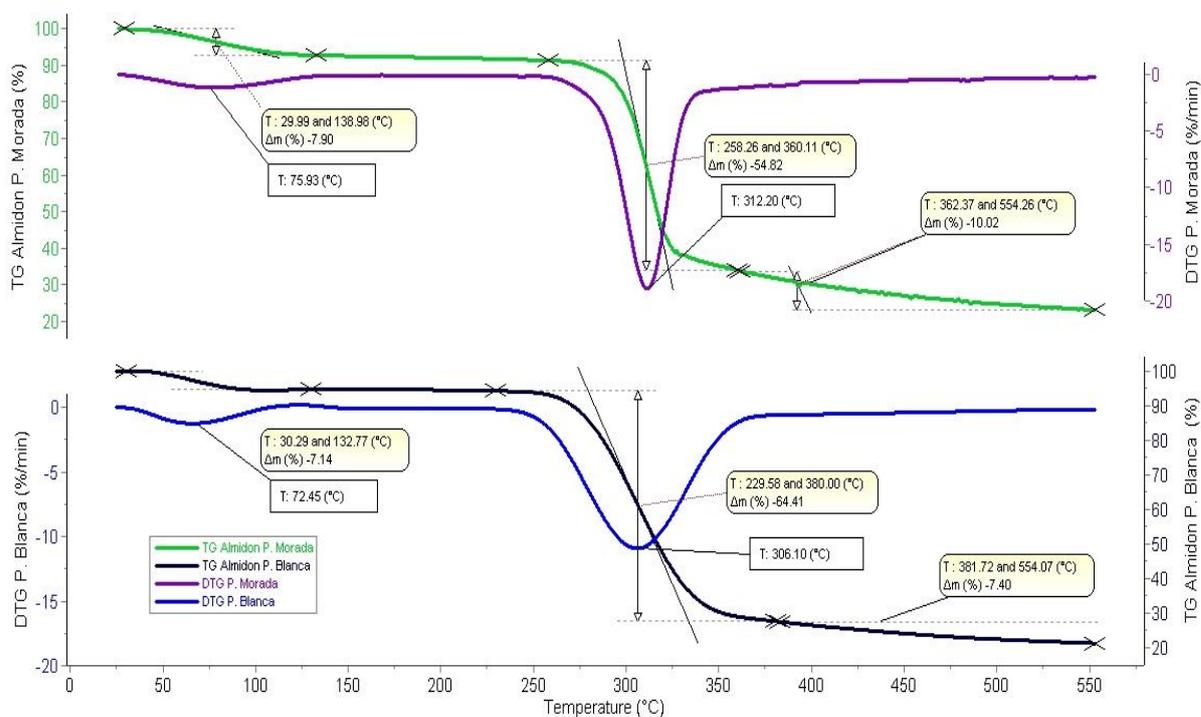
4.4. Determinación del comportamiento térmico del almidón de pituca (morada y blanca)

4.4.1. Análisis de estabilidad térmica por termogravimetría (TGA/DTG)

El comportamiento de degradación térmica y la estabilidad térmica pueden evaluarse mediante análisis termogravimétrico (TGA), los resultados de termogravimetría del almidón de pituca de las variedades morada y blanca se muestran en el **Cuadro 5** y **Figura 8**. En ella se puede apreciar 3 eventos de pérdida de masa y una zona de estabilidad térmica.

Cuadro 5. Resultados TGA / DTG de almidón extraído de pituca morada y blanca.

Almidón	Zonas	Rango de Temperatura (°C)		ΔT (Tf - Ti)	T° máxima Degradación (°C)	Δm (%)
		Ti	Tf			
Pituca Morada	Primero	29,99	138,98	108,99	75,93	7,90
	Estabilidad Térmica	138,98	258,26	119,28		
	Segundo	258,26	360,11	101,85	312,25	54,82
	Tercero	362,37	554,26	191,89		10,02
	Residuo					27,26
Pituca Blanca	Primero	30,29	132,77	102,48	72,45	7,14
	Estabilidad Térmica	132,77	229,58	96,81		
	Segundo	229,58	380,00	150,42	306,06	64,41
	Tercero	381,72	554,07	172,35		7,40
	Residuo					21,05

**Figura 8.** Resultados TGA / DTG de almidón extraído de pituca morada y blanca.

La primera zona donde el evento principal es la pérdida de agua y compuestos volátiles, la muestra morada se redujo en 7,90% en el rango de 29,99 a 138,98°C; la muestra blanca se redujo 7,14% en el rango de 30,29 a 132,77°C ambas muestras tuvieron similares temperaturas de máxima descomposición con 75,93°C en morada y 72,45°C en blanca. Los resultados de reducción de masa fueron similares a lo reportado por **ANDRADE et al. (2017)** quien asocia una descomposición de la masa cercanas a los 100°C, con pérdida de 11,10% y 8,01% de agua. A su vez **ELMI SHARLINA et al. (2017)**, indica una rápida deshidratación de la muestra por debajo de 100 °C con pérdida del 10 % del peso aproximadamente. **(LONDOÑO-RESTREPO et al., 2014)** en su estudio de almidón de tubérculos *Dioscorea pyrifolia* reporta una primera descomposición a temperaturas inferiores a 120°C, asociando a la pérdida de agua de las muestras, este valor es aproximadamente el 8% del peso. De acuerdo con **LIU et al. (2010)** durante esta etapa, comienza con una rápida deshidratación y descomposición de los grupos hidroxilo en los anillos de glucosa para formar moléculas de agua, la ruptura de la cadena principal ocurre en los límites C-C-H, C-O y C-C. Los productos de descomposición gaseosos consisten principalmente en H₂O, CO y CO₂.

La región de estabilidad térmica, para la pituca morada se encuentra entre 138,98 – 258,26°C y para la pituca blanca entre 132,77– 229,58°C. Según el resultado la morada presento mayor estabilidad térmica, alcanzado un rango ΔT de 119,28°C esto indica que la muestra no presentó variaciones en la masa durante el incremento de temperatura, por su parte la blanca obtuvo un rango ΔT de 96,81°C. El rango de temperatura tanto para la muestra morada y blanca se

encuentran comprendidas entre el rango reportado por **ELMI SHARLINA et al. (2017)** en su análisis de almidón de *D. pyrifolia* reporta como buena estabilidad térmica a temperaturas superior de 190°C. cabe aclarar que, las diferencias de rangos de temperatura están relacionados a la disposición de amilosa y amilopectina como reporta **MARTINS et al. (2020)** encontrando un período de estabilidad en almidón de taro morado nativo hasta 251,9 °C , atribuyendo este efecto a la disposición de amilosa y amilopectina que influyen directamente sobre las propiedades térmicas del almidón.

En la segunda región fue donde ocurrió la mayor descomposición relacionada al compuesto mayoritario presente en las muestras de almidón de pituca morada y blanca, ambas mostraron diferencias en el rango de temperatura y la cantidad de masa descompuesta. Para la morada se alcanzó una descomposición de 54,82% dentro de 258,26 – 360,11°C, por su parte la blanca obtuvo una reducción de masa en 64,41% entre 229,58 – 380,00°C. **MARTINS et al. (2020)** reporta para almidón de taro morado nativo tuvo una reducción del 65,7% para esta zona con rango de 251,9 - 398,3°C, coincidiendo con la temperatura de inicio con **ANDRADE et al. (2017)** y **LIU et al. (2010)** quienes asocian este proceso de degradación a la amilosa y la rotura de la cadena de amilopectina en un rango de temperatura de 250-350°C. Asimismo en esta zona se observa que la temperatura máxima de descomposición obtenida del grafico DTG (Figura 8) fue 312,25°C para la pituca morada y 306,06°C para la pituca blanca. Según el grafico se evidencia que la muestra morada se descompuso más rápido en el rango ΔT de 101,85°C y para la blanca en el rango ΔT de 150°C, esto posiblemente sea atribuido a la diferencia de amilosa y amilopectina

presentes en la composición de los almidones, al respecto **LONDOÑO-RESTREPO *et al.* (2014)**, indican que el ensanchamiento del pico con menor altura corresponde a mayor presencia de amilopectina en la muestra y un proceso de degradación más lento aumentando el rango de descomposición, esto se evidencia con un pico alto y estrecho en la curva DTG lo que indica una degradación rápida de amilosa en un rango de temperatura menor tal como sucedió en las muestras analizadas (**Figura 9**).

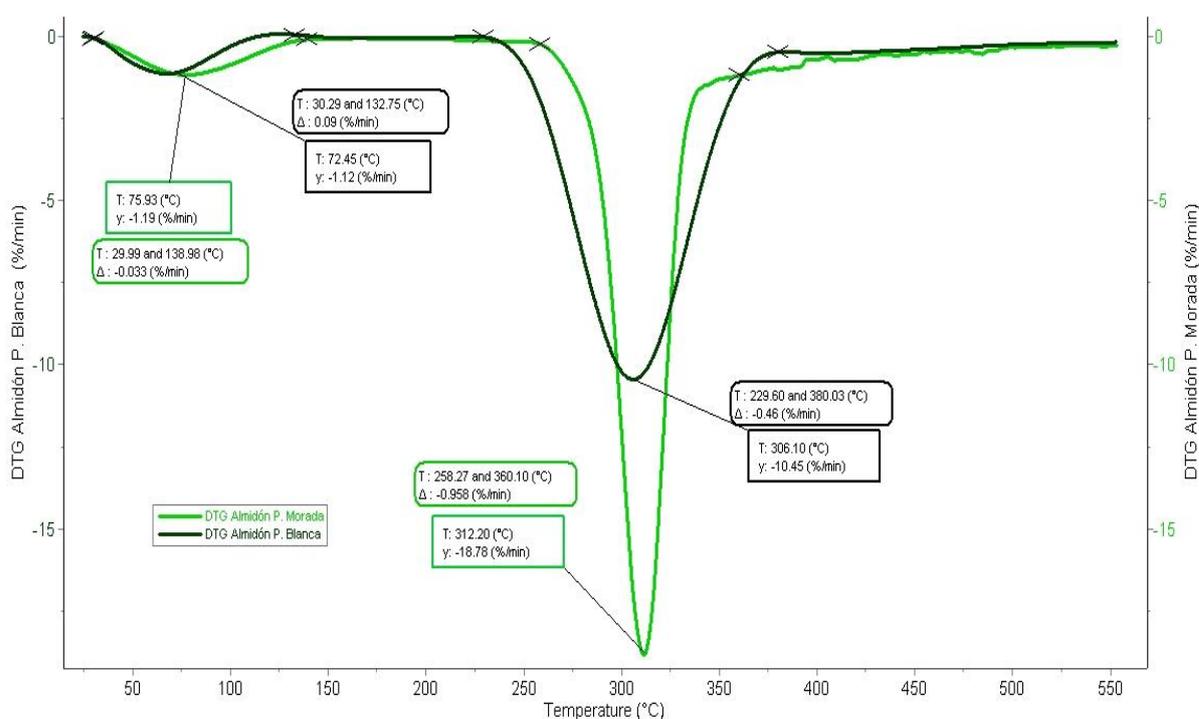


Figura 9. DTG de almidón extraído de pituca morada y blanca.

La tercera región correspondiente a una descomposición lenta, para la pituca morada comprendió desde 362,37°C a 554,26°C con 10,02% de reducción de masa y la blanca estuvo entre 381,72 – 554,07°C con descomposición del 7,4%. Los residuos finales del proceso de pirólisis en estos

almidones alcanzo 27,26% para morada y 21,09% en blanca. Según los resultados existe una diferencia respecto a lo reportado por **MARTINS et al. (2020)** cuya reducción fue del 21,26% para esta zona con rango de 398,3°C – 553.6°C. Esto posiblemente sea atribuido a la estructura cristalina y el aumento de las interacciones intermoleculares como factores principales en la descomposición térmica del almidón (**XU et al., 2014**). Con respecto al residuo este estaría formado por carbón inerte como lo menciona **LONDOÑO-RESTREPO et al. (2014)**, para la tercera etapa por encima de 400°C, inicia la formación de residuos carbonosos inertes y la pérdida de masa se estabiliza (descomposición lenta), motivo por el cual no hay formación de pico en la curva DTG. Así mismo, **MUKURUMBIRA et al. (2017)** indica que el último rango representa la degradación y descomposición del esqueleto del polímero.

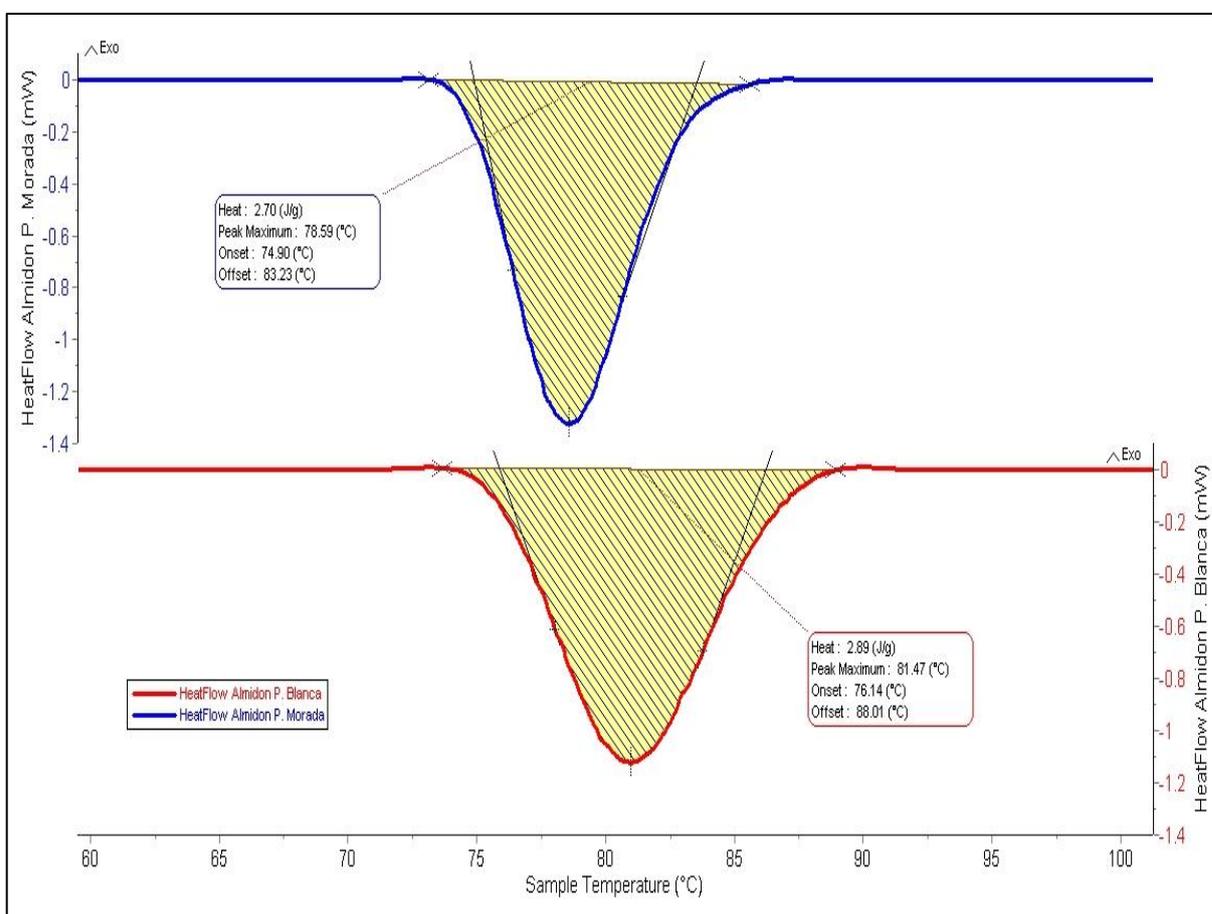
4.4.2. Análisis de gelatinización por calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Las muestras de almidón en pituca morada y blanca presentaron una zona de intercambio energético de naturaleza endotérmica correspondiente a un proceso de gelatinización. Según los resultados del **Cuadro 6** y anexo (**A-IIIa, A-IIIb y A-IIIc**) referente a la temperatura de inicio (T_o), temperatura pico (T_p) y temperatura final (T_f), con un 95% de confianza se puede afirmar que existe diferencia significativa ($P < 0,05$) entre las variedades morada y blanca conforme a los resultados de la prueba T de Student.

Cuadro 6. Resultados de gelificación en almidón de pituca morada y blanca.

Almidón	Temperatura Inicio (To) °C	Temperatura Pico (Tp)°C	Temperatura Final (Tf)°C	Entalpía de gelificación (J/g)	Rango (Tf-To) °C
Morada	74,90 ± 0,36 ^b	78,59 ± 0,23 ^b	83,23 ± 0,34 ^b	2,70 ± 0,02 ^a	8,32 ± 0,03 ^b
Blanca	76,14 ± 0,28 ^a	81,47 ± 0,45 ^a	88,01 ± 0,73 ^a	2,89 ± 0,23 ^a	11,86 ± 0,49 ^a

Los valores representan (Media ± SEM) datos provenientes del experimento (n=3). Las medias con diferentes superíndices dentro de la columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$) según la prueba T de Student.

**Figura 10.** Curva DSC en almidón de pituca morada y blanca.

La pituca blanca obtuvo valores más altos iniciando este evento a $76,14 \pm 0,28^{\circ}\text{C}$ hasta T_f $88,01 \pm 0,73^{\circ}\text{C}$ con T_p en $81,47 \pm 0,45^{\circ}\text{C}$. por su parte

la morada comprendió entre T_o $74,90 \pm 0,36^\circ\text{C}$ hasta T_f $83,23 \pm 0,34^\circ\text{C}$, alcanzando una temperatura máxima de gelatinización (T_p) de $78,59 \pm 0,23^\circ\text{C}$. Las temperaturas T_o , T_p y T_f de la transición térmica de gelatinización (**Figura 10**) coincidieron con lo reportado por **RÍOS (2014)** en su estudio de tres variedades de almidón de malanga, indica un rango de T_o en $72,86$ a $76,36^\circ\text{C}$, T_p entre $82,91 - 84,54^\circ\text{C}$ y T_f en $92,95 - 93,11^\circ\text{C}$. Por su parte **HAZAMH (2012)** indica valores de temperatura T_o en $77,80^\circ\text{C}$, T_p de $81,80^\circ\text{C}$ y T_f en $87,4^\circ\text{C}$ para almidón de taro nativo (*Colocasia esculenta sp.*) al respecto **HIMEDA et al. (2012)** en su estudio de las propiedades de gelatinización por DSC del almidón en taro a diferentes etapas de madurez indica un incremento de las temperaturas T_o entre $72,5 - 76,2^\circ\text{C}$, para T_p desde $80,7 - 84,5^\circ\text{C}$ y T_f en $89,3 - 93,2^\circ\text{C}$.

Las diferencias con respecto a la temperatura pico (T_p) puede atribuirse al contenido de amilosa; en estudios anteriores han sugerido que la amilosa actúa como plastificante o diluyente, lo que afecta la temperatura de fusión (**MUKURUMBIRA et al., 2017**). Por su parte **ANDRADE et al. (2017)** indica que las diferencias en la temperatura de gelatinización pueden estar asociadas con diferencias en el contenido de amilosa, la forma, la distribución y la capacidad de retención de agua de los gránulos de almidón. **NAIDOO et al. (2015)**, señala que estas diferencias en las temperaturas máximas podrían atribuirse posiblemente a diferencias en el grado de cristalinidad del almidón de diferentes fuentes. Otros factores como la granulización y la pureza del almidón (presencia de mucílago) después de la extracción. Así mismo, se encontró que la temperatura de gelatinización aumentaba con la adición de mucílago al almidón de taro debido a la competencia por el agua (**HUANG et al., 2010**).

Con respecto a los resultados de Entalpia de gelificación (J/g) del anexo **A-III**d, al 95% de confianza se puede afirmar que no existe diferencia ($P > 0,05$) entre las variedades morada y blanca conforme a los resultados de la prueba T de Student. Obteniendo mayor resultado la blanca $2,89 \pm 0,23$ J/g en comparación a la morada $2,70 \pm 0,02$ J/g. Estas respuestas de entalpia de gelificación son ligeramente superiores a lo reportado por **HAZAMH (2012)** encontrando 2,4 J/g en almidón de taro nativo y **JIANG et al. (2012)** en su estudio de almidón *D. bulbifera* reporta ΔH en 2,05 J/g. Otros autores reportaron entalpias de gelatinización superior a lo encontrado en el estudio, tal como **ABOUBAKAR et al. (2008)** en seis variedades de taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) reporta una ΔH entre 8,43 - 14,95 J/g. **HIMEDA et al. (2012)** indica una entalpia de gelatinización 13,2 a 16,3 J/g en almidón de taro a diferentes etapas de madurez. Por otro lado, **CORONELL-TOVAR et al. (2018)** reporta entalpia de gelificación de 5,00 J/g en harina de cocoyam (*Xanthosoma spp.*); estas diferencias posiblemente sean atribuidas a muchos factores, como la forma, el tamaño, la amilosa, la capacidad de unión al agua y la composición de los gránulos de almidón, así como la disposición interna del almidón (**ELMI SHARLINA et al., 2017**). Por su parte **CORONELL-TOVAR et al. (2018)** menciona que el elevado contenido de amilopectina de alto peso molecular, se requerirá más energía para disociar las cadenas. A pesar de la gran proporción de amilopectina de alto peso molecular observada en el almidón de la harina de cormo, su entalpía de gelatinización (ΔH) (correspondiente a la energía necesaria para completar el proceso) fue baja. Esto puede atribuirse a interacciones bastante débiles entre las dobles hélices de amilopectina.

V. CONCLUSIONES

- La caracterización morfológica de los gránulos de almidón de pituca morada y blanca tuvieron una forma poligonal con cavidades céntricas, el gránulo promedio fue pituca morada (2,58 μm) > a la blanca (2,31 μm).
- La caracterización del color mostró alta pureza del almidón aislado de pituca morada con índice de blancura (WI 91,10) y Luminosidad (L^* 99,72), comparada al almidón de pituca blanca (WI 90,30 y L^* 96,46).
- Las propiedades funcionales evaluadas mostraron mayor solubilidad en agua fría para el almidón de pituca blanca (3,20%) comparada al almidón de pituca morada (1,33%). La capacidad de retención de agua y sinéresis fueron similares en ambas variedades.
- El TGA mostró el mayor rango de temperatura en estabilidad térmica para el almidón de pituca morada (138,98 – 258,26 °C) comparada al almidón de pituca blanca (132,77 – 229,58 °C). El mayor rango de descomposición según la curva DTG fue para el almidón de pituca blanca (ΔT 150,42 °C) y menor velocidad de pérdida de masa (-10,45 %/min) comparada a la morada con ΔT 101,85 °C y -18,78 %/min.
- El DSC mostro mayor rango de gelificación y Temperatura pico para el almidón de pituca blanca ($R = 11,86$ °C y T_p 81,47) respecto a la morada ($R=8,32$ °C y T_p 78,59°C).

VI. RECOMENDACIONES

- Utilizar el almidón de pituca morada por la alta estabilidad térmica que presenta, en aplicaciones alimentarias y no alimentarias como los alimentos crujientes, materiales de recubrimiento, hidrogeles, películas, biomembranas y adhesivos.
- Utilizar el almidón de pituca blanca en productos de masa y panificación debido a la alta temperatura de gelificación y solubilidad en agua.
- Utilizar los almidones de pituca morada y blanca en productos alimenticios que requieran colores brillantes y claros debido al alto índice de blancura.
- Realizar estudios respecto al contenido de amilosa y retrogradación del gel del almidón de *Colocassia esculenta* L. Schott en las variedades morada y blanca.
- Realizar estudios en almidones modificados de pituca para cambiar sus propiedades funcionales y térmicas, para tener un amplio rango de aplicaciones industriales como encapsulantes de fármacos.

VII. REFERENCIAS

- ABOUBAKAR, NJINTANG, Y. N., SCHER, J., MBOFUNG, C. M. F. 2008. Physicochemical, thermal properties and microstructure of six varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flours and starches. *Journal of Food Engineering, Cameroon*. 86(2):294–305.
- ACUÑA, M. 2012. Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (*Dioscórrea trifida*) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados. Tesis de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Bogotá.
- ÁLVAREZ, A., DELGADO, M., REYES, O. 2014. Extracción de almidón de la malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Schott). Tesis. Universidad Doctor José Matías Delgado. El Salvador Centro América. 68 p.
- ALVIS, A., VÉLEZ, C.A., VILLADA, H., RADA-MENDOZA, M. 2008. Análisis fisicoquímico y morfológico de almidones de Ñame, Yuca y Papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información Tecnológica*. 19(1): 19-28.
- AMON, A. S., SORO, R. Y., ASSEMAND, E. F., DUE, E. A., KOUAME, L. P. 2014. Effect of boiling time on chemical composition and physico-functional properties of flours from taro (*Colocasia esculenta cv foue*)

- corm grown in Cote d'Ivoire. *Journal of Food Science and Technology*, 51(5), 855–864. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0578-7>.
- ANDRADE, L., ALVES, N., PEREIRA, J. 2017. Extraction and properties of starches from the nontraditional vegetables Yam and Taro. *Rev. Polímeros: Ciência e Tecnologia, Brasil*. 27(2):151-157.
- ANGAMARCA, L. 2013. Evaluación de diferentes niveles de almidón de dos tubérculos amazónicos *Manihot esculenta* y *Colocasia esculenta* en la elaboración de manjar de leche. Tesis Ingeniería en Industrias Agropecuarias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 175 p.
- ARAUJO C, RINCÓN A, PADILLA F. 2004. Caracterización del Almidón nativo *Dioscorea bulbifera* L. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 54(2):241-245.
- ARINOLA, S. O. 2019. Physicochemical properties of pregelatinized and microwave radiated white and red cocoyam (*Colocasia esculenta*) starches. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 11(2), 251–258. <https://doi:10.17508/cjfst.2019.11.2.15>.
- 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. <https://doi:10.9755/ejfa.v26i8.17098>
- BADUI S. 2006. Química de los Alimentos. Cuarta edición. Pearson Educación de México, S.A. México. 738 p.
- BARRAZA-JÁUREGUI, G., & SICHE, R. 2021. Almidón de semilla de palta: Optimización del índice de blancura durante el proceso de extracción.

Agroindustrial Science, 11(1), 81-85.

<https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.10>.

BARRETO, S. A., DE GASCUE, B. R., PRIN, J. L., PÉREZ, E., ORTIZ, S. 2012.

Necesidad de sustitución de las fuentes tradicionales de almidón: avances en los estudios de gránulos de almidón obtenidos de ocumo chino (*Colocasia esculenta* L Schott) y de sus mezclas con canavalia (*Canavalia ensiformis*). *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* (1):12-15.

BELITZ, H., GROSCH, W. & SCHIEBERLE, P. 2009. *Food Chemistry*. 4 ed.

Springer-Verlag, Berlín.

BENITO, J. 2014. *Apuntes de Métodos de Análisis Térmicos*. Madrid:

Universidad Carlos III de Madrid (España). Boletín Técnico nº 14. 30 p.

BROADBENT, A. D. 2017. *Colorimetry, Methods*. *Encyclopedia of Spectroscopy*

and Spectrometry, 321–327. <https://doi:10.1016/b978-0-12-803224-4.00014-5>.

CABALKOVA, J., PRIBYL, J., SKLADAL, P., KULICH, P., CHMELIK, J. 2008.

Size, shape and surface morphology of starch granules from Norway spruce needles revealed by transmission electron microscopy and atomic force microscopy: effects of elevated CO₂ concentration. *Tree Physiology*, 28(10):1593–1599.

CALLE, J., BENAVENT-GIL, Y., & ROSELL, C. M. 2020. Use of flour from

cormels of *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott and *Colocasia esculenta* (L.) Schott to develop pastes foods: physico-chemical, functional and

nutritional characterization. Food Chemistry, 128666.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128666>.

CARR, J. M., SUFFERLING, K., POPPE, J. 1995. Hydrocolloids and their use in the confectionery industry. Journal of Food Technology. 49:41–44.

CASAGRANDE, C., BOUFLEUR, N., RECKZIEGEL, P., PICOLLI DA SILVA, L. & WALTER, M. 2012. Amylose content in rice (*Oryza sativa*) affects performance, glycemic and lipidic metabolism in rats. Ciencia Rural 42(2): 381-387.

CASARRUBIAS, M. 2010. Digestibilidad y características moleculares de almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L.) Y MANGO (*Mangifera indica* L.) modificados enzimáticamente. Tesis Maestría en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos. Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Yuatepec, Morelos.

CASTILLO C., 2017. Caracterización reológica y fisicoquímica de pastas y geles obtenidos del almidón de tres variedades de papa nativa (*Solanum spp.*). título profesional de: ingeniero agroindustrial. Universidad nacional del altiplano- Puno.

CHMELIK, B. J., KRUMLOVA, A., BUDINSKA, M. 2001. Comparison of size characterization of barley starch granules determined by electron and optical microscopy, low angle laser light scattering and gravitational field-flow fractionation, 107(1): 11–17.

CORONELL-TOVAR, D. C., CHÁVEZ-JÁUREGUI, R. N., BOSQUES-VEGA, Á., LÓPEZ-MORENO, M. L. 2018. Characterization of cocoyam

- (*Xanthosoma spp.*) corm flour from the Nazareno cultivar. Food Science and Technology. Campinas, 39(2): 349-357.
- CUENCA, M., MONCADA, M. 2020. Preparación de un recubrimiento comestible a base del almidón de papa china (*Colocasia esculenta*) para aplicaciones alimenticias. Trabajo de titulación en Ing. Alimentos. Universidad Técnica de Machala.
- DELMORO, J., MUÑOZ, D., NADAL, V., CLEMENTZ, A. & PRANZETTI, V. 2010. El color en los alimentos: determinación de color en mieles. INVENIO 13(25): 145-152.
- DEKA, D., SIT, N. 2016. Dual modification of taro starch by microwave and other heat moisture treatments. International Journal of Biological Macromolecules, 92, 416–422.
- DÍAZ, A., DINI, C., VIÑA, S. Z., GARCÍA, M. A. 2016. Starch extraction process coupled to protein recovery from leguminous tuberous roots (*Pachyrhizus ahipa*). Carbohydrate Polymers, 152, 231–240.
- DIAZ Y., 2015. Determinación de las propiedades físicas, químicas, tecnofuncionales y la estabilidad en congelación/descongelación del almidón de cuatro variedades de *solanum tuberosum ssp. andigenum* (papa nativa). Título profesional de ingeniero agroindustrial. Universidad Nacional José María Arguedas. Andahuaylas – Perú.
- DRZEŹDŹON, J., JACEWICZ, D., SIELICKA, A., CHMURZYŃSKI, L. 2018. Characterization of polymers based on differential scanning calorimetry based techniques. TrAC Trends in Analytical Chemistry.

- EASTMAN, J., MOORE, C. 1984. Cold water soluble granular starch for delled food compositions. U.S. Patent 4: 465-702.
- ELLIASON, A. 2006. Carbohydrates in food. 2 ed. New York, US, Taylor&Francis Group. 546p.
- ELMI SHARLINA, M. S., YAACOB, W. A., LAZIM, A. M., FAZRY, S., LIM, S. J., ABDULLAH, S., KUMARAN, M. 2017. Physicochemical Properties of Starch from Dioscorea pyrifolia tubers. Food Chemistry, 220, 225–232.
- ELTAYEB, A., ALI, A., ABOU-ARAB, A. AND ABU-SALEM, F. 2011. Chemical composition and functional properties of flour and protein isolate extracted from Bambara groundnut (*Vigna subterranean*). African Journal of Food Science Vol. 5(2): 82-90.
- FALADE, K. & OKAFOR, C. 2013. Physicochemical properties of five cocoyam (*Colocasia esculenta* and *Xanthosoma sagittifolium*) starches. Food Hydrocolloids, 30: 173–181.
- FENNEMA, O. 2010. Química de Alimentos. Tercera edición. Ed. Acribia S.A. Zaragoza – España. 2000p.
- FLORES-RUIZ E, MIRANDA-NOVALES MG, VILLASÍS-KEEVER MÁ. 2017. El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. Estadística inferencial. Rev Alerg Mex. 2017;64(3):364-370.
- GARNICA, A., ROMERO, A., CERÓN, M. & PRIETO, L. 2010. Características funcionales de almidones nativos extraídos de clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L. Subespecie *andigena*) para la industria de alimentos. Alimentos Hoy 19(21): 3-15.

- GUDMUNDSSON, M. 1994. Retrogradation of starch and the role of its components. *Thermochimica* 246: 329-341.
- GUO, J., KONG, L., DU, B., XU, B. 2019. Morphological and physicochemical characterization of starches isolated from chestnuts cultivated in different regions of China. *International Journal of Biological Macromolecules*. 130: 357–368. <https://doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.02.12>.
- GUPTA, V., THAKUR, R., DAS, A. B. 2021. Effect of natural deep eutectic solvents on thermal stability, syneresis, and viscoelastic properties of high amylose starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 187, 575–583. <https://doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.07.09>.
- HAMZAH, Y., SITI, A. 2012. Effect of Heat Moisture Treatment on Molecular Structure and Thermal Properties of Taro Starch (*Colocasia esculenta* sp.). *International Annual Symposium on Sustainability Science and Management Terengganu, Malaysia*. 526-531.
- HERNÁNDEZ-MEDINA, M., TORRUCO, J., CHEL, L. BENTANCUR, D. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia e Tecnología de Alimentos* 28(3): 718-726
- HIMEDA, M., NJINTANG, N., NGUIMBOU, R., GAIANI, C., SCHER, J., FACHO, J., MBOFUNG, C. 2012. Physicochemical, rheological and thermal properties of taro (*Colocasia esculenta*) starch harvested at different maturity stages. *International Journal of Biosciences*. 2:14-27.
- HORNUNG, P. S., ÁVILA, S., LAZZAROTTO, M., DA SILVEIRA LAZZAROTTO, S. R., DE ANDRADE DE SIQUEIRA, G. L., SCHNITZLER, E., RIBANI, R. H. 2017. Enhancement of the functional properties of Dioscoreaceas

- native starches: Mixture as a green modification process. *Thermochimica Acta*, 649, 31–40. <https://doi:10.1016/j.tca.2017.01.006>
- HUAMANÍ, E. 2018. Extracción y caracterización del almidón de dos variedades de pituca (*Colocasia esculenta*) de la región de Ayacucho. Tesis para optar el título profesional de ingeniera en industrias alimentarias. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3331>.
- HUANG, C. C., LAI, P., CHEN, I. H., LIU, Y. F., WANG, C. C. R. 2010. Effects of mucilage on thermal and pasting properties of yam, taro, and sweet potato starches. *LWT Food Science and Technology*, 43, 849–855.
- HURTADO, J. 2019. Caracterización fisicoquímica funcional del Almidón extraído de la papa china (*Colocasia esculenta*) cultivada en el pacífico colombiano. Universidad Santiago de Cali. <http://repository.usc.edu.co/handle/20.500.12421/4627>.
- JANE, J., SHEN, J., CHEN, J., LIM, S., KASEMSUWAN, T., NIP, W. 1992. Physical and chemical studies of Taro starches and flours. *Rev. Cereal Chemistry*, Honolulu. 69(5):528-535.
- JANE, J. 2003. Chemical and Functional Properties of Food Saccharides - Chapter 7. Starch Structure and Properties. CRC Press Francis & Taylor Group. Boca Ratón, Florida.
- JIANG, Q., GAO, W., LI, X., XIA, Y., WANG, H., WU, S., XIAO, P. 2012. Characterizations of starches isolated from five different *Dioscorea* L. species. *Food Hydrocolloids*, 29(1): 35–41.

- KANG, K. W., ECHARRI, J. M., LLORENTE, C. L. 2013. Servicio de microscopía electrónica de barrido y microanálisis del limf. 660–665.
- KARLSSON, M., LEEMAN, A., BJÓRCK, I. & ELIASSON, A. 2007. Some physical and nutritional characteristics of genetically modified potatoes varying in amylose/amylopectin ratios. *Food Chemistry* 100: 136-146.
- KAUSHAL, P., KUMAR, V., SHARMA, H. K. 2012. Comparative study of physicochemical, functional, antinutritional and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza sativa*) flour, pigeonpea (*Cajanus cajan*) flour and their blends. *LWT–Food Science and Technology*, 48(1), 59-68. <https://doi:10.1016/j.lwt.2012.02.028>.
- KOLAWOLE, S., IGWEMMAR, S. BELLO, H. 2013. Comparison of the physicochemical properties of starch from ginger (*Zingiber officinale*) and maize (*Zea mays*). *International Journal of Science and Research (IJSR)* 11(2): 71-75.
- LALALEO, D. 2017. Caracterización reológica de suspensiones elaboradas a partir harina y residuos de banano de rechazo. (Tesis Grado), Universidad Técnica de Ambato, Ambato (Ecuador). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24739>.
- LIU, X., YU, L., XIE, F., LI, M., CHEN, L., LI, X. 2010. Kinetics and mechanism of the thermal decomposition of corn starches with different amylose/amylopectin ratios. *Starch/Starke*, 62, 139–146.
- LIU, C., AN, F., HE, H., HE, D., WANG, Y., SONG, H. 2018. Pickering emulsions stabilized by compound modified areca taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) starch with ball-milling and OSA. *Colloids and Surfaces A:*

- Physicochemical and Engineering Aspects, 556, 185–194.
<https://doi:10.1016/j.colsurfa.2018.08.03>.
- LIU, Y., GAO, J., WU, H., GOU, M., JING, L., ZHAO, K., LI, W. 2019. Molecular, crystal and physicochemical properties of granular waxy corn starch after repeated freeze-thaw cycles at different freezing temperatures. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 346–353. <https://doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.04.11>.
- LONDOÑO-RESTREPO, S. M., RINCÓN-LONDOÑO, N., CONTRERAS-PADILLA, M., ACOSTA-OSORIO, A. A., BELLO-PÉREZ, L. A., LUCAS-AGUIRRE, J. C., RODRÍGUEZ-GARCÍA, M. E. 2014. Physicochemical, morphological, and rheological characterization of *Xanthosoma robustum* Lego-like starch. *International J. of Biol. Macromolecules*, 65:222–228.
- LÓPEZ, R. 2011. Efecto de la fermentación y el secado sobre la obtención de almidón agrio a partir de dos variedades de yuca (*Manihot esculenta*). Tesis de Licenciatura en Tecnología de Alimentos. Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.
- MARBOH, V., MAHANTA, C. L. 2021. Physicochemical and rheological properties and in vitro digestibility of heat moisture treated and annealed starch of sohphlang (*Flemingia vestita*) tuber. *International Journal of Biological Macromolecules*, 168, 486–495.
<https://doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.12.06>.

- MARTINS, A., BENINCA, C., BET, C. D., BISINELLA, R. Z. B., DE OLIVEIRA, C. S., HORNUNG, P. S., SCHNITZLER, E. 2020. Ultrasonic modification of purple taro starch (*Colocasia esculenta* B. Tini): structural, psychochemical and thermal properties. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 138: 1–10. <https://doi:10.1007/s10973-020-09298-3>
- MONTENEGRO, C., PÉREZ, G. 2015. Obtención de bioetanol por hidrólisis enzimática y fermentación a partir de almidón de vituca (*Colocasia esculenta*) Lambayeque, 2015. Tesis. Universidad Señor de Sipán. Lambayeque. 79 p.
- MONTOYA-LÓPEZ, J., GIRALDO-GIRALDO, G., LUCAS-AGUIRRE, J. 2012. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE BLANCURA EN HARINA DE TRIGO COMERCIAL. *Vitae*. 19(1):415-416
- MORALES A. 2012. Fitogeografía e industrialización del almidón de pituca (*Colocasia esculenta*). *Espacio y Desarrollo*. 24:97-117.
- MUKURUMBIRA, A., MARIANO, M., DUFRESNE, A., MELLEM, J. J., AMONSOU, E. O. 2017. Microstructure, thermal properties and crystallinity of amadumbe starch nanocrystals. *International Journal of Biological Macromolecules*, 102:241–247.
- MURILLO. A. 2014. Evaluación de la funcionalidad del almidón de tres variedades de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.k) en productos alimenticios, según sus características fisicoquímicas y térmicas. Tesis Licenciatura en Tecnología de Alimentos. Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

- NAIDOO, K., AMONSOU, E., OYEYINKA, A. 2015. In vitro digestibility and some physicochemical properties of starch from wild and cultivated amadumbe corms. *Carbohydrate Polymers*, 125: 9–15.
- NEMTANU, M., BRASOVEANU, M. 2010. Functional Properties of Some Non-Conventional Treated Starches. *Biopolymers*. <https://doi:10.5772/10268>
- O'NEILL, M. A. A., GAISFORD, S. 2011. Application and use of isothermal calorimetry in pharmaceutical development. *International Journal of Pharmaceutics*, 417(1-2), 83–93.
- OGUNMOLASUYI, A. M., EGWIM, E. C., ADEWOYIN, M. A., AWOYINKA, O. 2016. A comparative study of functional and structural properties of starch extracted from *Dioscorea rotundata* and *Colocasia esculenta*. *Starch – Stärke*. 68(7-8):771–777.
- OJINNAKA, M. C., AKOBUNDU E. N. T., IWE, M. O. 2009. Cocoyam starch modification effects on functional, sensory and cookies qualities. *Pakistan J. Nutri*. 8 (5): 558-567.
- OLIVEIRA, A. R., CHAVES RIBEIRO, A. E., GONDIM, Í. C., ALVES DOS SANTOS, E., RESENDE DE OLIVEIRA, É., MENDES COUTINHO, G. S., CALIARI, M. 2021. Isolation and characterization of yam (*Dioscorea alata* L.) starch from Brazil. *LWT*, 149, 111843.
- OÑATE, L. 2018. Desarrollo de un recubrimiento comestible para fresa (*Fragaria x ananassa* Duchesne) en base a almidón de papa china (*Colocasia esculenta* Schott) de la variedad blanca. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28391>.

- PEÑA F. 2017. "Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de llave (Puno)". TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.
- PIELICHOWSKA, K., NOWICKA, K. 2019. Analysis of nanomaterials and nanocomposites by thermoanalytical methods. *Thermochimica Acta*.
- PINEDA-GÓMEZ, P.; CORAL, D. F.; ARCINIEGAS, M. L.; RORALES-RIVERA, A.; RODRÍGUEZ GARCÍA, M. E. 2010. Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido *Ingeniería y Ciencia*, vol. 6, núm. 11, enero-junio, 2010, pp. 129-141 Universidad EAFIT Medellín, Colombia.
- RAFIQ, S. I., JAN, K., SINGH, S., SAXENA, D. C. 2014. Physicochemical, pasting, rheological, thermal and morphological properties of horse chestnut starch. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5651–5660. <https://doi:10.1007/s13197-014-1692-0>.
- REYNOSO, PABLO E.; DANÓN, CLAUDIO A. 2016. Procedimiento de calibración en temperatura y flujo de calor de un calorímetro diferencial de barrido (dsc) *Avances en Ciencias e Ingeniería*, vol. 7, núm. 4, octubre-diciembre, 2016, pp. 17-28 Executive Business School La Serena, Chile.
- RÍOS, K. 2014. Análisis comparativo de las propiedades físico-químicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga

- (*colocasia antiquorum* y *colocasia esculenta*) cultivadas en el estado de Oaxaca. Tesis Ing. En alimentos. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- ROMERO-BARANZINI, A., FALCÓN-VILLA, M., BARRÓN-HOYOS, J., SILVEIRA-GRAMONT, M. & ALFARORODRÍGUEZ, R. 2010. Evaluación de color del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) Por métodos instrumentales y sensoriales. *Revista Mexicana de Agronegocios* 14(27): 323-335.
- SALAS, R. 2014. Estudio de Materiales Nanométricos con Microscopio Electrónico de Barrido SEM. (Tesis de maestría). Centro de Investigación en Materiales Avanzados S. C.
- SALGADO-ORDOSGOITIA, R. D., RODRÍGUEZ-MANRIQUE, J. A., COHEN-MANRIQUE, C. S., MENDOZA-ORTEGA, G. P. 2018. Characterization of the techno-functional properties of starch from Purple yam (*Dioscorea alata*), Hawthorn yam (*Dioscorea rotundata*) and Diamante 22-type yam. *DYNA*, 85(207): 143–152.
- SÁNCHEZ, E., ALVARADO, O. 2015. Obtención de un polímero biodegradable a partir de la mezcla de alcohol polivinílico y amilosa extraída del almidón de *Colocasia esculenta* (pituca) proveniente del distrito de Yambrasbamba. Tesis. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas. 140 p.
- SÁNCHEZ, M. 2004. Modificación por oxidación del almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y su caracterización parcial. Tesis Mag.Sc. Morelos, MX, IPN. 95p.

- SARICOBAN C, TAHSIN YILMAZ M. 2010. Modeling the effects of processing factors on the changes in colour parameters of cooked meatballs using response surface methodology. *World Applied Science Journal*, 9: 14–22.
- SINGH, J., DARTOIS, A. KAUR, L. 2010. Starch digestibility in food matrix: a review. *Trends in Food Science & Technology* 21: 168-180.
- SCHICK, C. 2012. Calorimetry. *Rev. Polymer Science: Elsevier – A Comprehensive Reference*. (2):793-823. [https://doi:10.1016/b978-0-444-53349-4.00056-x](https://doi.org/10.1016/b978-0-444-53349-4.00056-x).
- SIPOS, L., NYITRAI, Á., SZABÓ, D., URBIN, Á., NAGY, B. V. 2021. Former and potential developments in sensory color masking – Review. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 1–11.
- SIT, N., MISRA, S., DEKA, S. C. 2014. Characterization of Physicochemical, Functional, Textural and Color Properties of Starches from Two Different Varieties of Taro and Their Comparison to Potato and Rice Starches. *Food Science and Technology Research*, 20(2):357–365.
- SKIBSTED, L; RISBO, J; ANDERSEN, M. 2010. Chemical deterioration and physical instability of food and beverages. Florida, US, Elsevier. 790p.
- SKOOG, D., HOLLER, F., CROUCH, S., 2001. Espectrometría de masas moleculares, Principios del análisis instrumental. 5 ed. Madrid, España, Ed. McGraw-Hill. 1028 p.
- TORRES, A., MONTERO, P., DURAN, M. 2013. Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (*Colocasia*

- esculenta) Revista Lasallista de Investigación, Universitaria Lasallista Antioquia, Colombia. 10(2):52-61.
- TORRENCE, R. Y BARTON, H. 2006. Ancient starch research. Left Coast Press. Walnut Creek, California.137-142.
- VACLAVICK, V. 2002. Fundamentos de ciencia de los alimentos. Zaragoza, ES, Editorial Acribia. 485p.
- VÁZQUEZ, L. 2013. Evaluación de mezclas de harina de malanga y maíz para elaborar tortillas. Tabasco, México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- VENEGAS, D. 2017. Calorimetria diferencial de barrido. <https://doi:10.13140/RG.2.2.12849.79204>.
- WANG, Y., ZHANG, L., LI, X., GAO, W. 2011. Physicochemical properties of starches from two different yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) residues. Brazilian Archives of Biology and Technology: An International Journal, 54(2), 243–251.
- WANG, S., WANG, J., YU, J., WANG, S. 2014. A comparative study of annealing of waxy, normal and high amylose maize starches: The role of amylose molecules. Food Chemistry 164: 332-338.
- WANG, X., REDDY, C. K., XU, B. 2018. A systematic comparative study on morphological, crystallinity, pasting, thermal and functional characteristics of starches resources utilized in China. Food Chemistry, 259, 81–88. <https://doi:10.1016/j.foodchem.2018.03.12>.
- WANG, J., LIU, T., BIAN, X., HUA, Z., CHEN, G., WU, X. 2021. Structural characterization and physicochemical properties of starch from four

aquatic vegetable varieties in China. *International Journal of Biological Macromolecules*, 172, 542–549.

- WATERSCHOOT, J., GOMAND, S., FIERENS, E., DELCOUR, J. 2015. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch-Stärke* 67(1-2):14-29.
- WILSON, J.; HARDY, K.; ALLEN, R.; COPELAND, L.; WRANGHAM, R. Y
COLLINS, M. 2010. "Automated classification of starch granules using supervised pattern recognition of morphological properties". *Journal of Archaeological Science* 37: 594-604.
- XU, Y., SISMOUR, E. N., GRIZZARD, C., THOMAS, M., PESTOV, D., HUBA, Z.,
BHARDWAJ, H. L. 2014. Morphological, Structural, and Thermal Properties of Starch Nanocrystals Affected by Different Botanic Origins. *Cereal Chemistry Journal*, 91(4), 383–388. <https://doi:10.1094/cchem-10-13-0222-r>.
- ZHOU, X., BAIK, B., WANG, R. LIM, S. 2010. Retrogradation of waxy and normal corn starch gels by temperature cycling. *Journal of Cereal Science* 51: 57-65.
- ZHU, F. 2016. Structure, properties, and applications of aroid starch. *Food Hydrocolloids*, 52, 378–392. <https://doi:10.1016/j.foodhyd.2015.06.023>

VIII. ANEXOS

A-I. Análisis estadístico de prueba T pareada en la caracterización del color de los almidones en dos variedades de pituca.

A-Ia. Prueba T apareada de Luminosidad (L*).

Obs(1)	Obs(2)	N	Media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	LI(95%)	LS(95%)	T	Bilateral
L* Morada	L* Blanca	9	3.29	99.72	96.43	0.49	2.91	3.66	20.09	<0.0001

A-Ib. Prueba T apareada de croma a*.

Obs(1)	Obs(2)	N	Media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	LI(95%)	LS(95%)	T	Bilateral
a* Morada	a* Blanca	9	-0.88	-0.59	0.29	0.07	-0.93	-0.82	-37.48	<0.0001

A-Ic. Prueba T apareada de croma b*.

Obs(1)	Obs(2)	N	Media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	LI(95%)	LS(95%)	T	Bilateral
b* Morada	b* Blanca	9	-0.05	8.87	8.92	0.15	-0.16	0.07	-0.94	0.3759

A-Id. Prueba T apareada del índice de blancura (WI).

Obs(1)	Obs(2)	N	Media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	LI(95%)	LS(95%)	T	Bilateral
WI Morada	WI Blanca	9	0.71	91.1	90.39	0.16	0.59	0.83	13.56	<0.0001

A-II. Análisis estadístico de prueba T pareada de las propiedades funcionales del almidón de dos variedades de pituca.

A-IIa. Prueba T (muestras apareadas) capacidad de retención de agua (CRA).

Obs(1)	Obs(2)	N	Media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	LI(95%)	LS(95%)	T	Bilateral
Morada	Blanca	3	-10.69	131.5	142.19	11.62	-39.56	18.18	-1.59	0.2522

A-IIb. Prueba T (muestras apareadas) solubilidad en agua fría (S).

Obs(1)	Obs(2)	N	Media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	LI(95%)	LS(95%)	T	Bilateral
Morada	Blanca	3	-1.87	1.33	3.2	0.22	-2.41	-1.33	-14.86	0.0045

A-IIc. Prueba T (muestras apareadas) Sinéresis al congelamiento (Si).

Obs(1)	Obs(2)	N	Media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	LI(95%)	LS(95%)	T	Bilateral
Morada	Blanca	3	0.68	6.92	6.24	2.34	-5.14	6.5	0.51	0.6637

A-III. Análisis estadístico de prueba T pareada del Análisis de gelatinización por calorimetría diferencial de barrido (DSC).

A-IIIa. Prueba T (muestras apareadas) temperatura de inicio (To).

Obs(1)	Obs(2)	N	Media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	LI(95%)	LS(95%)	T	Bilateral
To Morada	To Blanca	3	-1.24	74.9	76.14	0.5	-2.47	-0.01	-4.34	0.0493

A-IIIb. Prueba T (muestras apareadas) temperatura pico (Tp).

Obs(1)	Obs(2)	N	Media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	LI(95%)	LS(95%)	T	Bilateral
Tp Morada	Tp Blanca	3	-2.88	78.59	81.47	0.5	-4.13	-1.63	-9.91	0.01

A-IIIc. Prueba T (muestras apareadas) temperatura final (Tf).

Obs(1)	Obs(2)	N	Media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	LI(95%)	LS(95%)	T	Bilateral
Tf Morada	Tf Blanca	3	-4.78	83.22	88.01	0.76	-6.66	-2.9	-10.96	0.0082

A-IIIId. Prueba T (muestras apareadas) entalpía de gelificación (ΔH).

Obs(1)	Obs(2)	N	Media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	LI(95%)	LS(95%)	T	Bilateral
ΔH Morada	ΔH Blanca	3	-0.2	2.7	2.89	0.42	-1.24	0.84	-0.82	0.4982

A-IIIle. Prueba T (muestras apareadas) rango de gelificación (R).

Obs(1)	Obs(2)	N	Media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	LI(95%)	LS(95%)	T	Bilateral
R Morada	R Blanca	3	-3.54	8.32	11.86	0.89	-5.74	-1.34	-6.92	0.0203