

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, FUNCIONAL Y NUTRICIONAL DEL
ALMIDÓN DE DOS VARIEDADES DE PAPA NATIVA (*Solanum phureja*)
CULTIVADAS EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

CLAUDIA JANETH CHARFUELAN TUPAZ

YAMID DAYAN PAZ GÓMEZ

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO**

2022

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, FUNCIONAL Y NUTRICIONAL DEL
ALMIDÓN DE DOS VARIEDADES DE PAPA NATIVA (*Solanum phureja*)
CULTIVADAS EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

CLAUDIA JANETH CHARFUELAN TUPAZ

YAMID DAYAN PAZ GÓMEZ

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero

Agroindustrial

Asesor:

M.Sc Diego Fernando Mejía España

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

SAN JUAN DE PASTO

2022

Nota de Responsabilidad

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Fecha de sustentación: 16-marzo-2022

Puntaje: 92

Ph. ANDRÉS MAURICIO HURTADO BENAVIDES

Jurado

Ing. LAURA LATORRE VÁSQUEZ

Jurado

M.Sc. DIEGO FERNANDO MEJÍA ESPAÑA

Asesor

San Juan de Pasto, marzo de 2022

Nota del Autor

Claudia Charfuelan, Estudiante Pregrado, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto; Yamid Paz, Estudiante Pregrado, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto

Este trabajo fue realizado en apoyo al proyecto “evaluación de la aptitud del almidón de una variedad de papa nativa (*Solanum puhureja*), como ingrediente funcional en la elaboración de productos de panadería con bajo índice glucémico” de la convocatoria docente 2018 de Vicerrectoría de investigaciones e interacción social, Universidad de Nariño. Cualquier mensaje con respecto a este trabajo debe ser enviado a la facultad de ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia al correo 216035052@udenar.edu.co

Agradecimientos

A la Universidad de Nariño y a la Facultad de Ingeniería Agroindustrial por habernos dado la oportunidad de cumplir nuestras aspiraciones profesionales.

A la Ingeniera Diana Melisa Chaves Morillo, por su importante asesoría, su comprensión y disponibilidad para hacer posible la finalización de este trabajo de investigación.

Al M.Sc. Diego Fernando Mejía España por la dirección del trabajo de investigación.

Al Ph. Andrés Hurtado Benavides y a la Ingeniera Laura Latorre Vásquez, quienes a través de sus valiosos aportes contribuyeron al desarrollo de la investigación.

Al Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario (GAIDA), por el aporte en instalaciones y equipos para la realización de la investigación.

Y finalmente, a todas las personas directa o indirectamente aportaron en la ejecución de este trabajo de investigación.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a Dios, quien supo guiarme por el buen camino; darme fuerzas para seguir adelante y no caer sobre los problemas que se presentaban.

A mis padres Luis Paz y Marina Gómez, quienes me inspiran con su fortaleza para seguir adelante; por su apoyo, consejos, comprensión, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, y mi coraje para conseguir mis propios objetivos.

A mis hermanas Patricia, Andrea y Marilin, por estar ahí desde los inicios de mi carrera; brindándome siempre el mejor apoyo de fortaleza y energía para el alcance de mis metas. A mis sobrinos Darikson, Santiago y Celeste, a mis primas Yuliana y Nathali, por motivarme, espero ser buen ejemplo y apoyarlos en sus sueños.

A mi amiga y compañera Claudia Charfuelan, por su ayuda y comprensión desde el inicio del desarrollo del proyecto; fuiste un apoyo incondicional en todos los sentidos. Gracias por ser una excelente persona y colega.

A mis profesores, a la generación de Ingeniería Agroindustrial 2016, especialmente a Francy, Adriana, Dayra, Margarita, Carolina, Macario, María, Angie, Laura, Vanessa, Rafael y demás amigos de la universidad, ya que con ustedes se pasaron buenos momentos y siempre representaron un gran apoyo para mi formación.

Yamid Paz

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a Dios y a mi padre, quienes me han guiado y dado la fuerza para poder afrontar las adversidades y llegar hasta donde me encuentro.

A mi madre Erika Tupaz, quien ha sido una madre y un padre a la vez, siendo mi más grande inspiración, mi modelo a seguir y quien me ha ayudado a alcanzar todas mis metas, con sus consejos, fortaleza y por brindarme lo necesario tanto moral como material, para llevar a cabo mis estudios. Quien me ha enseñado a ser una mejor persona, a alcanzar todo lo que me proponga y a afrontar cada obstáculo que se me presente.

A mi hermana Alejandra, por estar ahí en cada paso de mi vida; dándome su apoyo durante toda mi carrera, acompañándome en los buenos y malos momentos. A mi hermano Sebastián, por ser una de mis mayores motivaciones para salir adelante y ayudarlo a alcanzar más logros, que los que yo pueda alcanzar. A mi tío Luis , quien es como un padre para mí, y a mi abuelita Clemencia, quien me ha estado apoyando en cada momento de mi vida.

A mi amigo y compañero Yamid Paz, por su ayuda y comprensión durante la carrera y en el desarrollo este proyecto; fuiste un apoyo incondicional en todos los sentidos. Gracias por ser una excelente persona y colega.

A mis profesores y a la generación de Ingeniería Agroindustrial 2016, especialmente a Francy, Adriana, Dayra, Margarita, Carolina, Macario, María y demás amigos de la universidad, con quienes disfrute de los mejores momentos y fueron un apoyo incondicional.

Claudia Charfuelan

Resumen

La presente investigación tuvo por objetivo determinar las propiedades fisicoquímicas, funcionales y nutricionales de almidón de dos variedades de papa nativa (*Solanum phureja*): Andina y Ratona blanca, cultivadas en el departamento de Nariño. En las propiedades fisicoquímicas se realizó un análisis bromatológico, evaluando el contenido de humedad, carbohidratos totales, proteína, grasas, cenizas y fósforo, los cuales fueron similares a los reportados en la literatura para almidón de papa. Asimismo, se encontró que los gránulos de almidón presentaban formas redondas y elípticas, con un tamaño de eje mayor entre 16 y 84 μm y eje menor entre 0,95 y 82 μm ; el contenido de amilosa y amilopectina de la variedad Andina fue de 34,7 mg/L y 65,3 mg/L y para la variedad Ratona blanca fue 35,51 mg/L y 64,49 mg/L, respectivamente. En la evaluación del color en las dos variedades de papa, los valores de L^* , a^* y b^* , indicaron un color análogo al color blanco; en la difracción de rayos X, el almidón de variedad Andina y Ratona blanca presentaron patrones de difracción de tipo B. En las propiedades funcionales se determinaron valores altos de índice de absorción de agua (IAA) y poder de hinchamiento (PH), los cuales incrementaron con el aumento de la temperatura. La sinéresis en refrigeración y congelación aumentó con el paso de los días, mostrando mayor estabilidad el almidón de variedad Andina. Los resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) para las variedades Andina y Ratona blanca, muestran un pico endotérmico, con una temperatura de gelatinización (T_p) de 60,5 y 63,4 $^{\circ}\text{C}$, respectivamente y una entalpía de gelatinización (ΔH) de 19,7 y 21,3 J/g, respectivamente. Por su parte, el análisis termogravimétrico (TGA), mostró dos etapas de degradación, la primera corresponde a la pérdida de humedad y la segunda a la descomposición del material orgánico. En la firmeza se observó que existe una relación directa entre esta propiedad y la concentración de

almidón de los geles, obteniendo valores entre 0,2 y 4,93 N. En el perfil amilográfico los almidones de papa Andina y Ratona blanca, obtuvieron un pico de viscosidad (PV) de 8714 y 6148 cP, respectivamente. En cuanto a las fracciones digestibles del almidón, las dos variedades de almidón de papa presentaron valores similares de almidón de digestión lenta (ADL) y variaron en el contenido almidón de digestión rápida (ADR) y almidón resistente (AR), destacando que el porcentaje de ALD y AR son considerables, siendo de gran interés nutricional por los posibles beneficios a la salud.

Abstract

This research aimed to determine the physicochemical, functional and nutritional properties of starch from two native potato varieties (*Solanum phureja*): Andina and Ratona blanca, grown in Nariño. In the physicochemical properties, a bromatological analysis was performed, evaluating the moisture content, total carbohydrates, protein, fat, ash and phosphorus, which were similar to those reported in the literature for potato starch. It was also found that the starch granules presented round and elliptical shapes, with a major axis size between 16 and 84 μm and minor axis between 0.95 and 82 μm ; the amylose and amylopectin content of the Andina variety was 34.7 mg/L and 65.3 mg/L and for the Ratona blanca variety it was 35.51 mg/L and 64.49 mg/L, respectively. In the evaluation of color in the two potato varieties, the values of L^* , a^* and b^* , indicated a color analogous to white color; in X-ray diffraction, the starch of the Andina and Ratona blanca varieties presented B-type diffraction patterns. In the functional properties, high values of water absorption index (IAA) and swelling power (PH) were determined, which increased with increasing temperature. The syneresis under refrigeration and freezing increased with the passage of days, with the starch of the Andina variety showing greater stability. The results of differential scanning calorimetry analysis (DSC) for the Andina and Ratona blanca varieties showed an endothermic peak, with a gelatinization temperature (T_p) of 60.5 and 63.4 $^{\circ}\text{C}$, respectively, and a gelatinization enthalpy (ΔH) of 19.7 and 21.3 J/g, respectively. Thermogravimetric analysis (TGA) showed two stages of degradation, the first corresponding to moisture loss and the second to the decomposition of the organic material. In the firmness, it was observed that there is a direct relationship between this property and the starch concentration of the gels, obtaining values between 0.2 and 4.93 N. In the amylographic profile, the starches of Andina potato and Ratona blanca obtained a peak viscosity (PV) of 8714 and 6148 cP, respectively. As for the digestible starch fractions, the two potato starch varieties

presented similar values of slowly digested starch (ADL) and varied in the content of rapidly digested starch (ADR) and resistant starch (AR), highlighting that the percentage of ADL and AR are considerable, being of great nutritional interest for the possible health benefits.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	19
1. Definición del Problema, Justificación e Importancia	21
2. Objetivos	25
2.1 Objetivo General	25
2.2 Objetivo Especifico	25
3. Marco Teórico	26
3.1 Generalidades de <i>Solanum phureja</i>	26
3.2 Desarrollo Agroindustrial de <i>Solanum phureja</i> en Colombia	29
3.3 Almidón	30
3.3.1 Propiedades Fisicoquímicas del Almidón	30
3.3.2 Propiedades Funcionales del Almidón	37
3.3.3 Propiedades Nutricionales del Almidón	42
4. Estado de Desarrollo e Innovación	46
5. Metodología	49
5.1 Localización	49
5.2 Material Experimental	49
5.3 Extracción de Almidón	49
5.4 Determinación de las Propiedades Fisicoquímicas del Almidón de Dos Variedades de Papa Nativa	50
5.4.1 Análisis Bromatológico	50
5.4.2 Forma y Tamaño del Granulo de Almidón	50
5.4.3 Contenido de Amilosa	51

5.4.4	Colorimetría.....	51
5.4.5	Difracción de rayos x.....	52
5.5	Determinación de las Propiedades Funcionales del Almidón de Dos Variedades de Papa Nativa	52
5.5.1	Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA) Y Poder de Hinchamiento (PH).....	52
5.5.2	Estabilidad en Refrigeración y Congelación	53
5.5.3	Análisis de Variables Térmicas Mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y Análisis Termogravimétrico (TGA)	53
5.5.4	Pruebas Texturales.....	54
5.5.5	Perfil Amilográfico.....	54
5.6	Determinación de las Propiedades Nutricionales del Almidón de Dos Variedades de Papa Nativa	55
5.6.1	Análisis de Almidón Resistente (AR), Almidón de Digestión Rápida (ADR) y Almidón de Digestión Lenta (ADL).....	55
5.7	Diseño Experimental	57
6.	Resultados y Discusión	58
6.1	Propiedades Fisicoquímicas	58
6.1.1	Análisis Bromatológico	58
6.1.2	Contenido de Amilosa	63
6.1.3	Forma y Tamaño del Granulo de Almidón.....	64
6.1.4	Colorimetría.....	68
6.1.5	Difracción de Rayos X	70
6.2	Propiedades Funcionales	73

6.2.1	Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento (PH).....	73
6.2.2	Estabilidad de Refrigeración y Congelación	79
6.2.3	Análisis de Variables Térmicas Mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y Análisis Termogravimétrico (TGA)	83
6.2.4	Pruebas Texturales.....	87
6.2.5	Perfil Amilográfico.....	89
6.3	Propiedades Nutricionales	94
6.3.1	Análisis de Almidón Resistente (AR), Almidón de Digestión Rápida (ADR) y Almidón de Digestión Lenta (ADL).....	94
	Conclusiones	99
	Recomendaciones.....	100
	Referencias	101

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Contenido nutricional de papa <i>Solanum phureja</i> variedad Criolla y <i>Solanum tuberosum</i> variedad Sabanera.	28
Tabla 2. Composición de almidón de papa.	32
Tabla 3. Análisis bromatológico de almidón de papa y maíz.	62
Tabla 4. Dimensiones de los gránulos almidón de papa y maíz.	66
Tabla 5. Coordenadas colorimétricas, índice de blancura (IW) y diferencial de color (ΔE) de almidón de papa y maíz.	70
Tabla 6. Grado de cristalinidad para almidón de papa y maíz.	71
Tabla 7. Propiedades térmicas de almidón de papa y maíz utilizando calorimetría diferencial de barrido.	85
Tabla 8. Variables termogravimétricas de almidón de papa y maíz.	86
Tabla 9. Perfil amilográfico de almidón de papa y maíz	93
Tabla 10. Análisis de almidón de digestión rápida (ADR), almidón de digestión lenta (ADL) y almidón resistente (AR) de almidón de papa y maíz.	94

Figura 19. Gráfico de medias y LSD de Fisher al 95% de confiabilidad para ALD de

almidón de papa y maíz. 95

Figura 20. Gráfico de medias y LSD de Fisher al 95% de confiabilidad para AR de almidón

de papa y maíz. 96

Introducción

La papa es un producto ancestral de los Andes y uno de los alimentos de mayor consumo a nivel mundial. Se estima que existen aproximadamente 5.000 variedades comestibles de papa y la mayor parte de la diversidad se encuentra en la zona Andina de América (Peña y Restrepo, 2013, pp. 25-32).

Sin embargo, ninguno de los países pertenecientes a esta zona figura entre los productores más importantes en el mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018).

En Colombia el 80% de la producción de papa se concentra en Cundinamarca, Boyacá y Nariño, siendo este último el departamento con mayor área sembrada de papa nativa y una de las regiones con mayor diversidad de este producto; tan solo el 6,8% de la producción nacional corresponde a papa nativa (Mejía et al., 2017, p.6).

Específicamente en el departamento de Nariño se puede encontrar alrededor de 118 genotipos de papas nativas, debido a que existen las condiciones agroecológicas para su producción (Tinjacá y Rodríguez, 2015, p.11). A pesar de ello, las papas nativas que han sido sembradas generación tras generación se han ido perdiendo, debido a factores como el desconocimiento de tecnologías apropiadas para su producción, escasez de semilla de calidad, los efectos del cambio climático, entre otros más, provocando el reemplazo por variedades mejoradas de mayor rendimiento y la falta de oportunidades en los mercados de las grandes ciudades por el desconocimiento de su existencia por parte de los consumidores (Monteros y Pallo, 2009; Pallo, 2014).

“El almidón en la papa constituye su principal fuente de energía, su contenido varía en un rango de 66 a 80% en base seca, el cual depende de la variedad, los cultivares y del estado de crecimiento de la planta” (Martínez et al., 2015, p.2). Este polisacárido tiene gran

demanda en la industria debido a sus propiedades como estabilizador coloidal, agente gelificante, agente de carga, agente de retención de agua y adhesivo. Especialmente en la industria alimentaria actúa como ligante, enturbiante, formador de películas, estabilizante de espumas, conservante en productos de panadería y contribuye en gran medida en la textura de muchos alimentos (Kaur et al., 2007; Vargas et al., 2016).

Desde el punto de vista nutricional y en función al tiempo de digestión en el organismo, el almidón se puede clasificar en tres categorías: almidones de digestión rápida (ADR), que al consumirse aumentan el nivel de glucosa en la sangre; almidones de digestión lenta (ADL) los cuales estabilizan el nivel de glucosa y almidones resistentes (AR), que son similares a la fibra dietética; los dos últimos se pueden considerar buenos para la salud humana (Horiński, 2019; Zhou et al., 2016).

Por todo lo expuesto anteriormente, el almidón puede considerarse una alternativa para dar valor agregado a estas variedades y demostrar su potencial de industrialización. El almidón de papa de variedades nativas en el departamento de Nariño es un campo poco explorado, pero con un gran futuro, para ello es importante la caracterización de este polisacárido para determinar sus ventajas y potenciales usos. De esta manera el procesamiento para la obtención de almidón de variedades de papa nativa podría convertirse a largo plazo en una opción que contribuya a la conservación genética, además de ver reflejados beneficios en el productor primario. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es realizar una caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional del almidón de dos variedades de papa nativa (*Solanum phureja*) cultivadas en el departamento de Nariño.

1. Definición del Problema, Justificación e Importancia

A nivel mundial, la papa (*Solanum tuberosum*) ocupa el tercer lugar en importancia como producto alimenticio después del arroz y el trigo. Más de mil millones de personas en todo el mundo comen papa regularmente y la producción total del cultivo supera los 374 millones de toneladas métricas (Centro Internacional de la Papa, 2017, p.1).

Los principales países productores de papa son: China, India y Rusia, mientras que Colombia ocupa el puesto número 25 a nivel mundial con una producción aproximada de 3.12 millones de toneladas anuales (Minagricultura, 2019, p.18).

“En Colombia el 95% de los productores de papa siembra menos de 3 hectáreas, siendo el 80% menos de 1 hectárea, por lo que predomina la producción minifundista” (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2019, p.2). En el país no se posee información detallada sobre áreas cultivadas con papa nativa puesto que a nivel nacional la siembra de este tubérculo se lleva a cabo a pequeña escala debido a que el cultivo es susceptible a heladas, a problemas fitosanitarios, a un tiempo poscosecha corto y a una brotación rápida (Ramírez et al., 2011). En Colombia los agricultores siembran y utilizan variedades nativas que se adaptan a los diversos microambientes de clima frío del país; se encuentran tres especies cultivadas (*Solanum tuberosum* spp. *andigena*, *Solanum phureja* y *Solanum chaucha*), el Banco de germoplasma conserva 1000 accesiones dentro de las cuales se puede encontrar 400 variedades nativas diferentes, provenientes de las diferentes zonas productoras de papa del país, estas variedades presentan una gran variabilidad genética que las hacen distinguir unas de otras por sus características morfológicas de planta, tubérculo y usos (Moreno et al., 2010; Serrano y Castro, 2020).

En Nariño, las principales variedades comercializadas son: Criolla, Diacol Capiro, Parda Pastusa, Pastusa suprema y Morasurco (Yepes et al. 2020). En el caso de las papas nativas, su

comercialización es más limitada, incluso algunos investigadores manifiestan que éstas han ido desapareciendo por la falta de conocimiento sobre prácticas de cultivo, prácticas poscosecha, su uso, sus propiedades y beneficios, lo que ha provocado una reducida demanda y la pérdida paulatina de la variabilidad genética en la región (Espinoza, 2019).

La papa nativa posee características nutricionales importantes, tanto en el producto en fresco como en sus derivados, originando posibles alternativas para generar mayor valor agregado (Hirsichler, 2012; Peña, 2017). Uno de sus componentes más importantes es el almidón, una macromolécula organizada en pequeños gránulos de diferente tamaño y forma, el cual conforma la reserva de carbohidratos más abundante en plantas y uno de los componentes primarios en una extensa cantidad de productos, pues es responsable de conferir algunas de las propiedades funcionales deseables en los alimentos y en otras industrias (Muñoz et al., 2015; Solarte et al., 2019).

Aunque en la actualidad el almidón de mayor uso proviene del maíz, el trigo o el arroz; la papa fue la principal materia para su obtención en Europa y Rusia. Hay que resaltar que dependiendo de la variedad de la papa el contenido de almidón varía, presentándose desde un 15% a un 20% de su peso (Pardo et al., 2013, p.2), lo que influye en las características fisicoquímicas, funcionales y nutricionales. Dicho carbohidrato, al ser aislado tiene características como: color blanco, sabor neutro, alta viscosidad, baja temperatura de gelatinización, baja tendencia a retrogradarse, resistente a la degradación enzimática, bajo contenido residual de grasas y proteínas ($< 0.5\%$ de los gránulos) y tiene la capacidad para enlazarse con agua; esto se le atribuye a su estructura y conformación química (Kanarskii et al., 2011; Odeku, 2013; Pardo et al., 2013).

“Es de especial interés una parte del almidón conocida como “almidón resistente”, la cual no es transformada a glucosa mediante la digestión y, por lo tanto, logra llegar al intestino grueso

donde se fermenta, absorbe y actúa como fibra dietaria” (Quiroga, 2009, p.136). “Se ha demostrado que este tipo de almidón es beneficioso en la reducción del riesgo de enfermedad cardiometabólica crónica, incrementa la saciedad, mejora la sensibilidad a la insulina y control glucémico, y aporta beneficios a la salud del colon” (Raatz et al., 2016, p.293).

Así, “el almidón es de las materias primas más utilizadas en la industria alimentaria y farmacéutica; se usa como relleno, deslizante, estabilizante, aglutinante, desintegrante, gelificante y agente de retención de agua” (Odeku, 2013, p.89).

El almidón es especialmente adecuado en el área alimentaria para su aplicación en sopas secas y líquidas, carne y productos cárnicos, fideos, productos horneados, rellenos de panadería, refrigerios a base de papa, dulces, análogos de queso, para productos de patata recubiertos, aperitivos de patata y bocadillos extruidos, donde el delicado equilibrio crujiente se rige por el almidón de papa (Semeijn y Buwalda, 2018, p.363).

En el campo no alimentario se utilizan en la industria textil como adhesivo y aglutinante, como agente de encolado (pulido, brillo y firmeza), en pinturas, lacas, barnices, como sustrato de fermentación, entre otros; de igual forma, en la actualidad se realizan investigaciones sobre su uso como componente de materiales termoplásticos y empaques biodegradables (Solarte-Montufar et al., 2019, p.36).

Según el Plan Regional de Competitividad de Nariño (2010 – 2032) la papa es una de las cadenas productivas en las que apuesta el departamento, en áreas como la investigación, infraestructura y fortalecimiento, debido a que involucra alrededor de 25.000 familias y genera gran cantidad de empleos en el sector rural por el alto requerimiento de mano de obra (Comisión Regional de la Competitividad de Nariño, Gobernación de Nariño y Cámara de Comercio de Pasto, 2009).

También en el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano –PECTIA (2017 – 2027) en Nariño se ha identificado la necesidad de investigar procesos que generen valor agregado a la papa con un enfoque que permita su aprovechamiento industrial (Yepes et al., 2016, pp.1-35).

Por lo anterior, las variedades nativas representan una alternativa de producción y consumo de alto potencial que ha quedado rezagada, pues no ha sido explotada en la industria y son pocos los análisis relacionados con la caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional del almidón proveniente de las diferentes variedades de papas nativas del departamento de Nariño.

Por ello, con este estudio se busca determinar algunas características de almidones de variedades nativas y de esta manera establecer sus usos industriales potenciales. Explorar este campo de estudio de caracterización de almidones puede generar las bases para plantear y fortalecer la alternativa de procesamiento de papa nativa, de esta manera a largo plazo esta iniciativa puede contribuir en la recuperación genética de variedades con potencialidades industriales importantes.

En base a lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas, funcionales y nutricionales del almidón de las variedades de papa nativa “Andina” y “Ratona blanca” en comparación con un almidón comercial de maíz?

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Caracterizar fisicoquímica, funcional y nutricionalmente el almidón de dos variedades de papa nativa (*Solanum phureja*) cultivadas en el departamento de Nariño.

2.2 Objetivo Especifico

- Determinar las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de dos variedades de papa nativa.
- Evaluar las propiedades nutricionales del almidón de dos variedades de papa nativa.

3. Marco Teórico

3.1 Generalidades de *Solanum phureja*

La papa es uno de los tesoros alimenticios del campo Colombiano, donde más de 90 mil papicultores producen alrededor de tres millones de toneladas al año, producidas en 123 mil hectáreas aproximadamente, distribuidas principalmente en Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia; las principales variedades comercializadas del país son Pastusa (10%), Diacol Capiro (13%), Suprema (3%), Superior 20%) y Criolla (7%) (FEDEPAPA y FNFP, 2020).

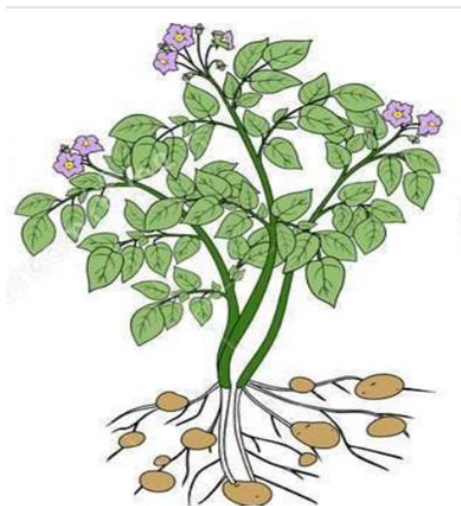
Los volúmenes que se exportan del país corresponden en gran parte a papa criolla (cerca de mil toneladas al año) procesada en diferentes presentaciones (Alvarado y Ramírez, 2016; MADR, 2019).

Tan solo el 6,8% de la producción nacional corresponde a papa nativa; la clara tendencia a la desaparición de estos tubérculos es consecuencia de la baja demanda, falta de innovaciones tecnológicas, nulo grado de procesamiento industrial para la transformación y conservación y por supuesto la escasa existencia de mercados diferenciados, por ello su limitada producción se ha visto destinada únicamente para autoconsumo de los agricultores y mercados locales (Mejía et al., 2017, pp.6-8). En Nariño hasta el momento se han recolectado 118 genotipos de variedades nativas según el “Catalogo de papas nativas de Nariño, Colombia” (Arias y Bustos, 1996; Tinjacá y Rodríguez, 2015) entre las que se destacan: ratona blanca y morada, cachuda, morasurco, mambera, tuquerreña, roja, uva y andina, siendo estas solo una muestra de lo que la tierra produce (Tinjacá y Rodríguez, 2015).

La planta de *Solanum phureja* está conformada por dos partes principalmente (Figura 1): la sección subterránea (raíz, estolones, tubérculos y tubérculo madre) y la sección aérea (tallos principales y secundarios, hojas, flores, y frutos) (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015, p.12).

Figura 1

Morfología de planta de papa.



Fuente: Alvarado y Ramírez, (2016).

Flores: son bisexuales y poseen: cáliz, corola, estambre y pistilo.

Frutos: baya esférica que en su interior tiene semillas ovaladas, planas y pequeñas.

Tallos: son herbáceos, de longitud y diámetro variables que dependen de la edad de la planta y la fertilización.

Estolón: tallos subterráneos laterales en donde se desarrollan los tubérculos.

Tubérculos: órganos de almacenamiento, tienen ojos por los cuales se puede desarrollar un nuevo sistema de tallos.

Raíces: tienen su origen en el tubérculo semilla, son axonomórfas con ramificaciones laterales.

Solanum phureja frente a *Solanum tuberosum*, se destaca por su alto contenido de energía (96 Kcal), carbohidratos totales (21,1 g), carbohidratos disponibles (20,5 g) y cenizas (1,2), es

rica en minerales como el hierro (1 mg) y el sodio 18 (mg), también tiene un aporte considerable de fósforo (36 mg) aunque inferior a *Solanum tuberosum* (57 mg), tiene mayor contenido de vitaminas como tiamina (0,11 mg), niacina (2,4 mg), vitamina C (32 mg) y vitamina A.

Tabla 1

Contenido nutricional de papa Solanum phureja variedad Criolla y Solanum tuberosum variedad Sabanera.

	<i>Componente</i>	<i>Solanum phureja</i>	<i>Solanum tuberosum</i>
ANÁLISIS PROXIMAL	Humedad (g)	75,4	77,7
	Energía (Kcal)	96	89
	Energía (KJ)	406	376
	Proteína (g)	2,2	2,1
	Lípidos (g)	0,1	0,1
	Carbohidratos totales (g)	21,1	18,9
	Carbohidratos disponibles(g)	20,5	17,1
	Fibra dietaria (g)	0,6	1,8
	Cenizas (g)	1,2	1,1
MINERALES	Calcio (mg)	11	12
	Hierro (mg)	1	0,8
	Sodio (mg)	18	6
	Fósforo (mg)	36	57
	Yodo (mg)	-	-

	Zinc (mg)	-	0,3
	Magnesio (mg)	-	23
	Potasio (mg)	-	422
VITAMINAS	Tiamina (mg)	0,11	0,08
	Riboflavina (mg)	0,03	0,03
	Niacina (mg)	2,4	1,1
	Folatos (µg)	-	16
	Vitamina B12 (µg)	0	0
	Vitamina C (mg)	32	20
	Vitamina A (ER)	2	0
<i>Parte comestible (%)</i>		100	100

Nota: Datos por 100 g de porción comestible. Nombre regional o alternativo de la variedad

Solanum tuberosum: papa pastusa . Fuente: Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, (2018).

3.2 Desarrollo Agroindustrial de *Solanum phureja* en Colombia

En Colombia la producción total de papa criolla disponible se destina a consumo en fresco y procesado, por ello se han venido estudiando e implementando procesos con esta variedad de papa como: encurtidos, deshidratados, freídos, precocidos, preformados, almidones, entre otros (Ramírez et al., 2011, p.7).

De acuerdo con Bonilla et al. (2009), la agroindustria de la papa criolla se puede segmentar en dos grandes tipos de industrias: pequeña y mediana empresa. En el primer caso se manejan volúmenes muy pequeños que no superan las quince toneladas por mes, tienen estándares de calidad para su materia prima basados en factores como madurez, peso y color; por

lo tanto, su capacidad de fabricación de productos basados en la papa criolla es limitado ya que se elaboran una o dos presentaciones al mercado, como son precocida y congelada. En el segundo caso, estas empresas se dedican al procesamiento de papa criolla y además realizan actividades como el acondicionamiento y venta de papa en fresco; poseen la infraestructura y la tecnología de producción necesaria para elaborar distintos tipos y presentaciones de producto como puré, chips, bocaditos de papa, croquetas, precocidos, congeladas y en conserva, entre otras. (p. 20)

Rodríguez y Ramírez (2011), exponen que “los retos fundamentales para la agroindustria están representados por la investigación en el procesamiento agroindustrial y el desarrollo de nuevas presentaciones de productos procesados a partir de la papa criolla” (p. 27).

3.3 Almidón

“Este carbohidrato es el segundo más abundante después de la celulosa; ha cobrado gran importancia en la dieta humana desde la prehistoria” (Tovar, 2008, p.8), además se le atribuye un gran número de usos industriales como adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, agente antienviejecimiento de pan, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante (Garnica et al., 2010, p.2). “El contenido de almidón en la papa varía entre 15% y 20% de su peso con un alto contenido de fósforo (0.08%) en comparación con almidones de otras fuentes” (Zhou et al., 2016, p.410).

3.3.1 Propiedades Fisicoquímicas del Almidón

Las propiedades fisicoquímicas dependen de la organización física y química de los polisacáridos, los cuales otorgan determinadas características funcionales al almidón. “Por ejemplo, el tamaño de los gránulos del almidón muestra una relación con la proporción amilosa/amilopectina” (Alarcón et al., 2016, p.316). Además de la amilosa y amilopectina, existen otros componentes en pequeñas proporciones como: proteínas, lípidos, grupos fosfato y trazas de materiales inorgánicos; tanto la fuente botánica y las condiciones de almacenamiento de

los almidones determinan el contenido de estos compuestos que imparten efectos drásticos en la propiedades físico-químicas (Díaz Barrera , 2015).

3.3.1.1 Tamaño y Forma del Granulo de Almidón. En los tubérculos de papa el almidón se almacena en forma granular, se caracteriza por ser un polvo blanco, suave e inodoro, que a nivel molecular presenta partículas llamadas gránulos de almidón, los cuales tienen forma ovalada y sus diámetros varían de 10 a 110 μm (Reyniers et al., 2020, p. 2).

Aun así, pueden variar en composición, forma (esférica, oval, poligonal, lenticular alargada, o en forma de riñón) y tamaño, según la fuente botánica. Estos son insolubles en agua a temperatura ambiente y en la mayoría de solventes orgánicos (Preiss, 2018; Rodríguez y Ramírez, 2011). “Los gránulos son un factor determinante para su procesabilidad, ya que afecta la solubilidad y el poder de hinchamiento del granulo” (Pardo et al., 2013, p.290).

El gránulo de almidón se organiza en áreas amorfas y en regiones de mayor y menor cristalinidad, y la transición entre ellas es gradual. El área cristalina está constituida por fracciones lineales de amilopectina, mientras que los puntos de ramificación y la amilosa son los principales componentes de las áreas amorfas (Rocha et al., 2010, p.544).

3.3.1.2 Composición del Almidón. La amilosa y la amilopectina son polisacáridos que en la mayoría de los almidones se encuentra en una proporción entre el 20% - 30% y el 80% - 70% respectivamente (Preiss, 2018; Rodríguez y Ramírez, 2011). En la Tabla 2 se muestra la composición proximal general del almidón de papa.

Tabla 2*Composición de almidón de papa.*

Componente	Cantidad	Componente	Cantidad
Humedad	18 – 20,5%	Sustancias oxidadas	Negativo
Cenizas	0,5% Máximo	Contenido de SO ₂	1 ppm. Aprox.
Proteína	0,1% Máximo	Valor calórico	380 kcal/100g
Lípidos	0,1% Máximo	Densidad	650 kg/m
Hierro	10 ppm. Máximo	Granulometría	0,5% máx./150 micrones
Fósforo	0,08%	Retención de humedad	3 a 3,50 g

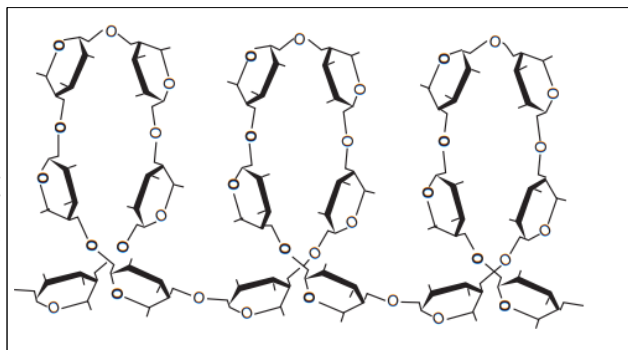
Fuente: Pardo et al. (2013); Ramírez et al. (2011).

3.3.1.3 Amilosa. La amilosa es el componente que se encuentra por lo general en menor proporción en el almidón, pero presenta una gran influencia en sus propiedades, es una molécula compuesta por una cadena larga lineal de enlaces glucosídicos α -D-(1-4), el número de unidades varía entre los diferentes tipos de almidones, pero generalmente se encuentra alrededor de 1.000 unidades de glucosa por molécula de amilosa y tiene forma de espiral (Figura 2), contiene el hidroxilo del carbono anomérico libre en un extremo de la macromolécula, por lo que se llama “extremo reductor”. En el extremo opuesto, o no reductor, el hidroxilo del carbono anomérico forma parte del enlace glucosídico. La abundancia de hidroxilos otorga propiedades hidrofílicas al polímero, proporcionándole afinidad por el agua. Sin embargo, debido a su linealidad, los polímeros de la amilosa tienden a agruparse muy estrechamente en forma paralela mediante la formación de puentes de hidrógeno entre los hidroxilos de los polímeros adyacentes reduciendo

así su afinidad por el agua y por ello favorece la formación de películas fuertes (Aristizábal y Sanchez, 2007; Badui Dergal, 2006).

Figura 2

Forma en espiral (enrollamiento helicoidal) de la amilosa.



Fuente: Badui Dergal, (2006).

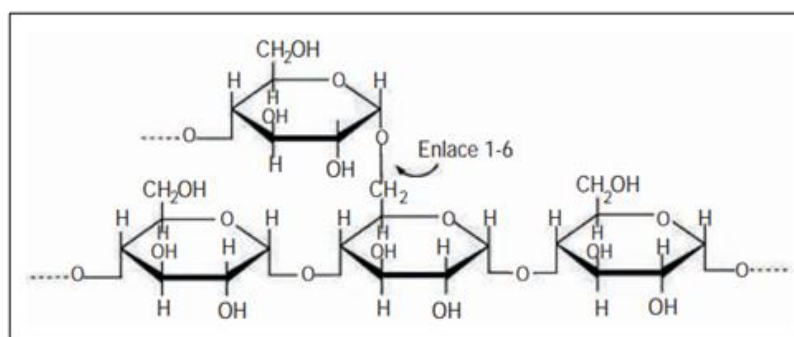
3.3.1.4 Amilopectina. Es la molécula predominante del almidón siendo un polímero ramificado de mayor tamaño que la amilosa, compuesta por segmentos lineales primordiales constituidas por 15 a 35 moléculas de glucosa unidas por enlaces α -1-4. A su vez contiene ramificaciones de enlace α -1-6 (Figura 3) situadas cada veinte o treinta unidades de glucosa a lo largo de las cadenas principales encontrándose entre 5 al 6% de estas ramificaciones laterales cortas. La amilopectina está constituida por muchos anillos de glucosa unidos entre sí para formar largas moléculas con numerosas ramificaciones que incluso pueden contener hasta 100.000 elementos de glucosa (Aldana et al., 2005; Aristizábal y Sanchez, 2007).

Debido al gran tamaño de su estructura ramificada se minimiza la posibilidad de formar películas fuertes y flexibles como los que forman la amilosa, puesto que las soluciones de amilopectina se caracterizan por su claridad y estabilidad representada como resistencia a gelificarse durante el almacenamiento. La amilopectina en sus estructuras lineales puede formar

complejos de color rosa con el yodo y no puede formar complejos con los ácidos, ya que las partes lineales que se toman como hélices que presenta la amilopectina son cortas, y por ende solo se pueden introducir moléculas pequeñas dentro de ellas, también es importante destacar que la amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente (Aristizábal y Sanchez., 2007, p.34).

Figura 3

Estructura de la amilopectina.

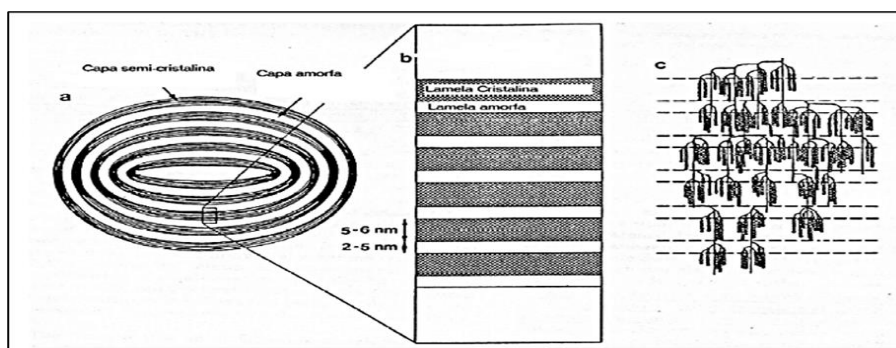


Fuente: Aristizábal y Sanchez (2007).

A la amilopectina se le atribuye la responsabilidad de la estructura del gránulo de almidón, el cual está formado por áreas cristalinas (cristales, micelas) y no cristalinas (amorfos, fase gel), configuradas en capas concéntricas (Figura 4). Las capas cristalinas están conformadas por dobles hélices de las ramificaciones de la amilopectina, mientras que los puntos de ramificación están en las zonas amorfas (Sandoval et al., 2005, p.47).

Figura 4

Representación esquemática de la estructura granular del almidón.



Nota: (a) un gránulo con capas amorfas y semicristalinas, (b) vista expandida de la capa semicristalina de un anillo creciente, (c) estructura de la amilopectina dentro de la capa semicristalina. Fuente: Sandoval et al. (2005).

3.3.1.5 Colorimetría. La luminosidad L^* varía de cero (negro) a 100 (blanco) y los almidones nativos muestran tendencia al blanco. Así las coordenadas CIELAB de los almidones pueden ser cercanos a: $L^*=95,06$ y $96,06$; $a^*=-1,27$ y $-1,35$; $b^*=1,44$ y $1,85$ (Palomino Mallma, 2018).

3.3.1.6 Cristalinidad. “La cristalinidad depende del grado de ordenamiento estructural en un cuerpo sólido. Ésta propiedad en los gránulos de almidón nativo suele ser del 14% al 45%; por eso hay una serie de desafíos relacionados con su uso y procesamiento” (Dome et al., 2020, p.2).

Los gránulos de almidón tienen estructuras muy complejas. La complejidad se basa en variaciones en su composición (α -glucanos, humedad, lípidos, proteínas y fosforilación), estructura de componentes y variación entre las regiones amorfa y cristalina. La amilosa asociada con grandes ramas de moléculas de amilopectina comprende la región amorfa de los gránulos y las moléculas de amilopectina con ramas cortas comprenden la región

cristalina; por lo tanto, se obtiene una mayor proporción de amilopectina en los gránulos de almidón con mayor cristalinidad. Hay tres tipos de estructuras cristalinas: las características de tipo A de los almidones de cereales, tipo B que se encuentran en tubérculos y tipo C presentes en leguminosas (Alcázar-Alay y Almeida, 2015, p.218).

Las estructuras cristalinas se basan en la doble hélice formada por la molécula de amilopectina. En las estructuras tipo A, las ramas de amilopectina son cortas (grado de polimerización de (6-15)) y están unidos por enlaces α -1,6. El tipo A es característico de ramificaciones de amilopectina. En el tipo B, las cadenas de glucosa son más polimerizadas y pueden actuar como bases donde las ramificaciones son de tipo A o forman moléculas de amilopectina ramificadas. Tipo B, las cadenas se subdividen en B1, B2, B3 y B4. Las cadenas B1 tienen un grado de polimerización entre 15 y 25, y las cadenas B2 son típicamente entre 40 y 50; B3 y B4 son los más altos. La cristalinidad de tipo C es una combinación de los tipos A y B y consta de moléculas de amilopectina con extremos no reducidos (Alcázar-Alay y Almeida, 2015, p.218).

La estructura semicristalina del almidón puede ser alterada por fenómenos como la gelatinización del almidón que se dan a temperaturas de calentamiento específicas, y que conllevan a una desorganización de la conformación estructural de la amilosa y la amilopectina, resultando en una pérdida de la estructura semicristalina del almidón procesado (Flores, 2004; Tupa, 2019).

Además, la amilopectina también afecta la digestibilidad dentro de las fuentes botánicas, ya que las cadenas laterales de amilopectina más largas se correlacionan con una digestibilidad más lenta. En todas las fuentes botánicas, se cree que una mayor proporción de cristalinidad se correlaciona con más almidones de rápida digestión, mientras que una mayor fracción amorfa da como resultado una menor tasa de digestión, aunque se supone que las regiones amorfa y

cristalina se digieren simultáneamente; así mismo, debido a las moléculas de agua presentes en los cristales de almidón de tipo B y C, estos almidones generalmente se digieren más lentamente que el almidón de tipo A (Martens et al., 2018, pp.2-8).

3.3.2 *Propiedades Funcionales del Almidón*

La caracterización funcional del almidón consta de la evaluación de características como: solubilidad, capacidad de retención de agua, poder de hinchamiento, tendencia a retrogradar, propiedades de la pasta (viscosidad, consistencia, estabilidad del gel, claridad y resistencia al corte, formación de película), digestibilidad enzimática, capacidad de emulsificación (Aristizábal y Sanchez, 2007, p.37), temperatura de gelatinización y sinéresis; características que se ven afectadas por el contenido de amilosa y amilopectina e influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas del almidón según su origen (Badui Dergal, 2006; Martínez et al., 2017).

Estas propiedades indican que al someter el almidón a un tratamiento hidrotérmico, este se expone a una serie de cambios físicos que afecta la organización del granulo de almidón por lo que pasa por importantes etapas de manera consecutiva: gelatinización, gelificación y retrogradación, teniendo como efecto el hinchamiento, hidratación, fusión y ruptura de los gránulos de almidón (Aristizábal y Sanchez., 2007; Badui Dergal, 2006; Martínez et al., 2017).

3.3.2.1 Gelatinización. Durante la gelatinización (generalmente entre los 60 y 75 °C), el gránulo inicia un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son las zonas menos organizadas y más accesibles provocando un primer hinchamiento que es reversible. Durante esta etapa de cocción, la amilosa se solubiliza y el almidón sufre una dispersión coloidal constituida por una fase continua o disolvente que se enriquece en amilosa y una fase dispersa de gránulos de almidón hinchados y enriquecidos en amilopectina. En esta etapa, los gránulos conservan sus propiedades ópticas incluyendo la capacidad de refractar la luz

polarizada (birrefringencia), la cual está asociada a la alineación de las moléculas dentro del gránulo. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y aumentar de volumen. Al llegar a cierta temperatura crítica, los gránulos alcanzan un volumen máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayos X como la birrefringencia (Arias Jara, 2016; Aristizábal y Sanchez., 2007).

El rango de temperatura en el que tiene lugar el hinchamiento de todos los gránulos se conoce como *rango de gelatinización* y es característico de la variedad particular de almidón que se está investigando. Al producirse el hinchamiento de los gránulos, hay también una extracción de la amilosa. Esta amilosa liberada queda en dispersión coloidal donde los gránulos intactos están en suspensión. (Arias Jara, 2016; Aristizábal et al., 2007).

Si el calentamiento es continuo cuando el gránulo alcanza su volumen máximo y pierde su patrón de difracción de rayos X como la propiedad de birrefringencia, el gránulo pierde la capacidad de retener el líquido, acompañado por un aumento de la viscosidad hasta alcanzar un máximo llamado *Pico de viscosidad*, en este punto también se encuentra la *temperatura de gelatinización* y se pasa de un estado ordenado a uno desordenado. El gránulo se rompe y se forma una dispersión en medio acuoso llamada *Pasta o Engrudo* (Aristizábal y Sanchez., 2007; Badui Dergal, 2006; Díaz y Solarte, 2017; Martínez et al., 2017).

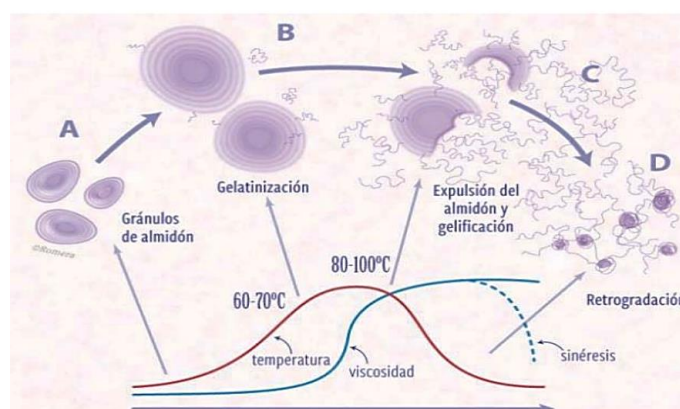
La gelatinización en una escala macroscópica produce un engrosamiento y pérdida de opacidad, se debe tener en cuenta que la gelatinización es muy diferente de la formación de gel (gelificación), en donde se crea un semisólido con estructura tridimensional a partir de un líquido y sólido, la cual puede ir acompañada por el aumento de turbidez (BeMiller y Whistler, 2009).

La Figura 5 muestra de manera esquematizada el comportamiento del almidón antes, durante y después de la gelatinización. Donde en A los gránulos se dispersan en agua no caliente y comienzan a hidratarse, luego en B donde comienza a aumentar la temperatura, los gránulos se

hinchon por la absorción de agua y a partir de 60-70 °C se completa su gelatinización y se observa un claro aumento de la viscosidad del medio. Ya en C, al seguir aumentando la temperatura, los gránulos se rompen y liberan las cadenas de amilosa y amilopectina que forman una red coloidal que aumenta muy significativamente la viscosidad del sistema. Por último, en D según las condiciones físicas y la estabilidad del gel puede ocurrir retrogradación del almidón y separación de fases (sinéresis).

Figura 5

Eventos que ocurren antes, durante y después de la gelatinización.



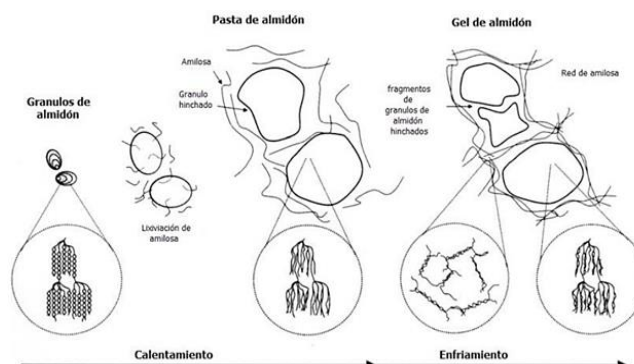
Fuente: Wilhelm, (2016).

En el enfriamiento se diferencian dos etapas: *gelificación* y *retrogradación*.

3.3.2.2 Gelificación. Es la disolución del almidón propiamente dicha, la cual engloba el resultado de varios procesos (Figura 6): hinchamiento del gránulo, exudación de componentes moleculares de los gránulos (principalmente amilosa), y la desintegración del gránulo (BeMiller y Whistler, 2009; Espinosa, 2008).

Figura 6

Representación esquemática de las propiedades de formación de pasta de almidón.



Fuente: Espinosa, (2008).

La amilopectina es la principal responsable del hinchamiento y viscosidad de la pasta de almidón. Una vez logrado el máximo hinchamiento en los gránulos de almidón, algunos se rompen o por la fase de enfriamiento se desnaturalizan, logrando que algunas moléculas de amilosa y amilopectina sean parte de la solución, esta nueva red se denomina gel (BeMiller y Whistler, 2009).

3.3.2.3 Retrogradación. Seguido de la gelificación, durante la fase de enfriamiento, en el almidón comienza la retrogradación, en donde las cadenas tienden a reasociarse en una estructura ordenada (BeMiller y Whistler, 2009). “Las moléculas de almidón, que, tras la gelatinización, se presentan en forma amorfa, conforme pasa el tiempo se reasocian formando cristales que están compuestos por las dobles hélices del almidón” (Espinosa, 2008, p.15), la cristalización de las cadenas de las moléculas presentes en el gel puede ocurrir en tres estados: a) dilatación de las cadenas debido al rompimiento de los enlaces intermoleculares que mantienen la configuración helicoidal, b) pérdida del límite de agua seguido de una reorientación de las moléculas y finalmente c) una formación de enlaces de hidrogeno entre moléculas adyacentes formando una

estructura. Esta cristalización va a endurecer el gel y acarrear el fenómeno de sinéresis, es decir, la expulsión de una parte del disolvente fuera del gel que produce una caída de la viscosidad (Aristizábal y Sanchez, 2007).

Las moléculas de amilosa retrogradan mucho más rápido que las moléculas de amilopectina, debido a que la formación de dobles hélices se presenta inmediatamente después de la gelatinización; por lo cual la amilosa es la responsable de los cambios reológicos iniciales de la pasta de almidón. Por otra parte, la retrogradación de la amilopectina es más lenta y puede presentarse a lo largo de días o semanas, debido a que su estructura es altamente ramificada (Espinosa, 2008, p.15).

El grado de retrogradación es afectado por la concentración de amilosa y amilopectina, tamaño molecular, temperatura, pH y los componentes diferentes al almidón presentes en el medio. Es favorecido por bajos pH, aunque a valores de $\text{pH} < 3$ la cantidad de material precipitado disminuye debido a la hidrólisis del almidón (Aristizábal y Sanchez., 2007; Badui Dergal, 2006).

Cuando el almidón en forma de gel es sometido a refrigeración y congelación, por lo general pierde paulatinamente el líquido absorbido y con esto la capacidad de retención de agua, debido a que las fracciones de amilosa y amilopectina se retrogradan a causa del enfriamiento, este parámetro es estrictamente dependiente de contenido de amilosa y amilopectina que presente el gránulo, la temperatura de almacenamiento y la concentración de almidón. Cuando el gel formado es expuesto a ciclos continuos de congelación y descongelación se modifica su estructura a causa de la formación, redistribución y la suspensión de los cristales de hielo. Además, se presenta sinéresis debido al desligamiento del agua (expulsión o exudación) ocurriendo separación de fases, una de ellas es rica en almidón (Aristizábal y Sanchez, 2007; Badui Dergal, 2006).

3.3.2.4 Propiedades térmicas. Las propiedades térmicas de los almidones pueden desarrollarse al experimentar un tratamiento hidrotérmico, estas propiedades se ven alteradas, notándose principalmente un aumento en el valor de las temperaturas de inicio de gelatinización (TI), temperatura de pico (TP) y temperatura final (TF); el incremento en su valor depende de las condiciones de temperatura y humedad aplicadas durante el tratamiento. Algunos autores han atribuido estas variaciones a los cambios estructurales de los gránulos de almidón, siendo de mayor impacto las interacciones amilosa-amilosa y amilosa-lípidos, las que causan estos incrementos en las temperaturas de gelatinización, ya que reducen la movilidad de las regiones amorfas, implicando un mayor requerimiento de calor con el fin de alterar la región cristalina e inducir al hinchamiento del gránulo (Hoyos Leyva, 2015, p.28).

La evaluación de la entalpía de gelatinización (ΔH) ha sido reconocida como una de las medidas más importantes para evaluar la calidad, ya que es un indicador de la pérdida de orden molecular dentro del gránulo y proporciona una medida general de cristalinidad (almidón no gelatinizado) mediante termogramas (Olguín-Arteaga et al., 2015, p.304).

“Esta propiedad está relacionada con la alteración de las dobles hélices (cadenas lineales de la amilopectina) presentes en las regiones cristalinas y no cristalinas de los gránulos (en el caso de la amilosa)” (Hoyos Leyva, 2015, p.28).

3.3.3 Propiedades Nutricionales del Almidón

En la nutrición humana el almidón juega un papel importante al suministrar la energía metabólica que permite al cuerpo realizar sus funciones y por su efecto benéfico en la salud (Dupuis y Liu, 2019, pp.127-138).

3.3.3.1 Almidón Resistente (AR), Almidón de Digestión Rápida (ADR) y Almidón de Digestión Lenta (ADL).

El almidón se puede diferenciar en tres fracciones: de almidón resistente (AR), almidón de digestión rápida (ADR) y almidón de digestión lenta (ADL). El ADR se identifica como la cantidad de almidón hidrolizado en los primeros 20 minutos después de la incubación con α -amilasa, el ADL como la cantidad hidrolizada entre 20 y 120 minutos, y el AR como la cantidad que no se hidroliza después de 120 minutos después de la incubación y se calcula restando ADR y ADL del almidón total medido (Pinhero et al., 2016, p.9).

El AR está compuesto por la suma del almidón y los productos de degradación de todos los almidones no absorbidos en el intestino delgado de individuos sanos; esta resistencia a la digestión del AR es consecuente especialmente a la estructura física determinada en gran parte por una cantidad más alta de amilosa en relación a la amilopectina, permitiendo la estructuración más compacta que es menos susceptible a la hidrólisis enzimática, de igual manera existe otro aspecto de gran relevancia que afecta la resistencia de este tipo de almidón, incluye el tamaño y tipo de gránulo, donde el tener un aumento en la densidad de ramas del almidón y la estructura cristalina contribuyen a su propiedad de digestión lenta (Villarroel et al., 2018, p.272).

El almidón resistente AR se subdivide en cinco categorías en base a la naturaleza del almidón y su posición en la estructura de los alimentos:

1. Tipo 1 (AR1), se compone de gránulos de almidón rodeados por una matriz indigerible, es almidón físicamente inaccesible; es inmune al cambio por el calor en las operaciones normales de cocción encontrándose en granos enteros y legumbres.
2. Tipo 2 (AR2), está representado por gránulos de almidón resistente a la digestión enzimática, debido que presenta una estructura compacta que limita el acceso de las

enzimas digestivas que lo degradan, se encuentra en alimentos crudos tales como papas y plátanos verdes (Villarroel et al., 2018, p.272).

3. Tipo 3 (AR3), también conocido como almidón retrogradado y totalmente resistente a la digestión por las amilasas pancreáticas. Este se forma después de tratamientos térmicos de calentamiento-enfriamiento con condiciones de alta humedad y temperatura. Consiste en amilosa retrógrada de doble hélice, unidas entre sí por puentes de hidrógeno. Esta estructura es la responsable de la inaccesibilidad de las enzimas digestivas del tracto gastrointestinal. La retrogradación puede afectar la mayoría de los alimentos en base a almidones los cuales son cocidos y no inmediatamente secados o comidos. Varios ciclos de recalentamiento y enfriamiento incrementan la cantidad de AR3. Se ha demostrado que los ciclos de calentamiento/refrigeración aumentan la formación de AR en leguminosas, cereales y tubérculos (Salazar-Acosta, 2018, p.59).

4. El Tipo 4 (AR4), se consideran los almidones modificados químicamente, donde nuevos enlaces químicos son formados a través de esterificación, reticulación o transglicosilación y no pueden descomponerse, ya que el proceso de modificación hace que la estructura sea inaccesible a la digestión por amilasas. Estos almidones se usan como aditivos en gran variedad de productos alimentarios para mejorar la viscosidad y otras características tecnológicas y sensoriales (Villarroel et al., 2018).

5. El Tipo 5 (AR5), consiste en complejos lípido-amilosa que se forman cuando la amilosa y las largas cadenas ramificadas de amilopectina interactúan con ácidos grasos y alcoholes. Estos complejos pueden formarse durante el procesamiento/cocción como el pan que contiene grasa como ingrediente, o artificialmente y de esta forma ser agregados a los alimentos, como almidones altos en amilosa acomplexados con ácidos grasos (Villarroel et al., 2018, p.272).

La hidrólisis rápida conduce a aumentos rápidos en los niveles de glucosa e insulina en sangre, por ello, el ADR se considera como la fracción menos saludable; sin embargo, el ADL se digiere aproximadamente en el tiempo que tardan los alimentos en pasar por el intestino delgado, esta propiedad de digestión lenta proporciona energía sostenida y ayuda a controlar los niveles de glucosa e insulina. Cabe resaltar que en estado crudo las papas tienen un contenido de AR de hasta el 75%, pero el almidón o la harina de papa muy rara vez se consume en crudo o nativo, cuando se cocina, el AR disminuye entre un 5% y 10% (Dupuis y Liu, 2019).

4. Estado de Desarrollo e Innovación

Ramírez et al. (2011), caracterizaron almidón nativo extraído de 17 clones promisorios de papa criolla (*Solanum phureja*) provenientes de diferentes localidades de Bogotá, para su aplicación en un derivado cárnico. Se seleccionaron los mejores almidones según su calidad y comportamiento (clones 3,8,9,14 y 15), debido a que obtuvieron alto rendimiento de extracción, poder de hinchamiento e índice de absorción de agua, características que hacen incrementar el volumen y la retención de agua. Así mismo estos clones también presentaron: alta viscosidad, temperatura de gelatinización y una buena relación amilosa/amilopectina, lo que proporciona una buena estabilidad, consistencia y emulsión de sus geles.

De la misma manera Villacrés et al. (2011), realizaron una valorización nutricional y funcional de las papas nativas (*Solanum andígena ssp*), donde el almidón es el componente mayoritario, ya que representa alrededor del 84,06% de sólidos totales de la papa. En general los niveles de proteína encontrados fueron insuficientes para cubrir el requerimiento diario por lo que debe acompañarse del consumo de otros vegetales o alimentos. Las variedades con mayor contenido de fibra pueden contribuir con el 24,28% del requerimiento diario, según las recomendaciones de la OMS citadas el por Verdú (2005). Entre los macroelementos, en las papas nativas sobresale el potasio con un rango de variación ente 1.693 y 2.103 mg/100 g (base seca). Entre los microelementos sobresale el hierro, para el que se registró una variación entre 2,68 a 16,47 ppm. Entre los compuestos funcionales, se destaca la vitamina C de la variedad uvilla, cuyo promedio es similar al tomate de árbol morado (28 mg/100 g).

Manchola (2012), reportó que el almidón de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *phureja*) tiene una densidad aparente promedio de 0,85g/cm³ lo que indica que tienen porosidad interparticular y se facilita su disolución, un contenido de pulpa promedio de 0,67%, por lo que poseen mínimas cantidades de fibra, una acidez expresada en ácido láctico de 0,6 mg en

promedio y el pH de 5,97 en promedio. También, evaluó la consistencia de pasta expresada en unidades de viscosidad entre 1,81 a 22,13 cP y entre 15,51 a 196,82 cP a 20 °C y 70 °C respectivamente, demostrando que son útiles en la elaboración de alimentos en los que se requiere poder de espesamiento alto.

Zárate et al. (2014), evaluaron almidones nativos de 17 clones promisorios de papa criolla de acuerdo a sus características fisicoquímicas y funcionales, en dos Municipios de Cundinamarca (Colombia). En la caracterización fisicoquímica se presentaron los siguientes rangos para los dos Municipios, así: humedad de 9,33 - 21,67%, amilosa de 14,05 - 49,0% y amilopectina de 51 - 85,95%. También se determinaron las propiedades funcionales con rangos de: temperatura de gelatinización de 62 – 74 °C; sinéresis en refrigeración de 2,12 - 22,52% y sinéresis en congelación de 0 - 33,34%. Los almidones nativos de los clones promisorios 3, 8, 9, 14 y 15 presentaron mejor comportamiento funcional, buena estabilidad, consistencia y emulsión de sus geles.

Mientras tanto Martínez et al. (2015), realizaron una caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas nativas (*Solanum phureja*) peruanas con el fin de darles un valor agregado y evaluar la posibilidad de uso. las variedades evaluadas fueron Puka Ambrosio (PA), Combe (CO), Perwanita (PER), Kalis qero (KQ), Qello virondos (QEV), Yana churos (YACH), Pitikiña (PI), Yana kusi (YAKU) y Solischa (SOL); se evaluaron parámetros tales como: viscosidad aparente (η), el poder de hinchamiento, el índice de absorción y la solubilidad. A 90 °C, el almidón de la variedad PI mostró los mayores valores de poder de hinchamiento (28,47%), capacidad de absorción de agua (22,7 g agua/g almidón) y solubilidad (20,24%). La menor sinéresis, a 4 °C, la presentaron los almidones de las variedades CO y YACH, 3,8 y 4,6 (g agua/g almidón) respectivamente. Todos los geles de almidón de las variedades en estudio mostraron un comportamiento no newtoniano. El almidón de la variedad SOL presentó geles con

la menor dureza (2,18 N) y gomosis (1,3 N) en comparación con las otras variedades. Todos los geles de almidón nativo ensayados presentaron un comportamiento predominantemente elástico, pues el módulo de almacenamiento (G') fue mayor que el módulo de pérdida (G'') teniéndose: ($G' > G''$). Los autores llegaron a la conclusión de que los geles débiles poseen propiedades reológicas intermedias entre soluciones y geles fuertes, y que, bajo condiciones de deformación pequeñas, los geles débiles se asemejan a los geles fuertes en su comportamiento mecánico.

Solarte et al. (2019), determinaron algunas propiedades reológicas y funcionales de almidones procedentes de dos variedades de papa nativa (*Solanum phureja*) de nombres Colombia, Jardinera y Latina. Se estudiaron seis propiedades funcionales: contenido de amilosa, índices de absorción de agua, índice de solubilidad en agua, poder de hinchamiento, sinéresis, fuerza de fractura del gel (dureza). También, se determinaron cinco parámetros reológicos: temperatura de viscosidad máxima, temperatura de formación de pasta, viscosidad máxima, y periodos de rompimiento y recuperación de la viscosidad. Los porcentajes de amilosa oscilaron entre 24.82% y 26.27%. De acuerdo a los resultados obtenidos, los almidones provenientes de estas tres variedades de papa criolla presentaron propiedades reológicas y funcionales atractivas que sugieren un potencial para fines industriales.

5. Metodología

5.1 Localización

Esta investigación se llevó a cabo en el laboratorio del grupo de apoyo a la investigación y desarrollo agroalimentario (GAIDA), laboratorio de Calidad y Conservación de Alimentos y en la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño Sede Torobajo, Pasto (Nariño), localizada a 2527 msnm., con una temperatura promedio al interior del laboratorio de 18 °C.

5.2 Material Experimental

El almidón se obtuvo mediante extracción húmeda, a partir de dos genotipos de papa: Ratona Blanca y Andina, las cuales fueron escogidas con base en análisis previos desarrollados en el proyecto denominado “Mejoramiento tecnológico y productivo del sistema papa en el departamento de Nariño” financiado por el sistema general de regalías.

Las muestras se seleccionaron según Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC, (2018); NTC 341 en la cual se definen que las papas deben ser enteras, no tener nudosidades y formas irregulares que las hagan difíciles de pelar, estar sanas, frescas, de consistencia firme, limpias, libres de cualquier materia extraña visible (excluye los indicadores visuales de tratamiento con inhibidores de brotes), libres de verdeamiento, exentas de plagas, enfermedades y daños causadas por ellas, exentas de humedad externa anormal, de cualquier olor extraño y brotes.

5.3 Extracción de Almidón

Se realizó según la metodología descrita por Gorosquera et al., (2004); Singh y Singh, (2001) con modificaciones de acuerdo al proceso.

La extracción del almidón de papa inició con una selección del tubérculo donde se descartó aquellos que no cumplieron con los requisitos dispuestos en la NTC 341. Se lavó el

tubérculo con agua potable y se desinfectó con hipoclorito de sodio a 50 ppm, se cortó en trozos de 2-3 cm y se sumergió en una solución de bisulfito de sodio al 1% p/v para evitar el pardeamiento durante la extracción. Posterior a ello se utilizó una licuadora industrial a máxima velocidad, por dos minutos. Al finalizar la molienda húmeda se separó con lienzo el agua lechada (agua más almidón) y la fibra e impurezas retenidas en el lienzo, las cuales fueron lavadas con agua destilada hasta obtener un líquido claro.

El filtrado se dejó reposar entre 7 a 10 horas y se eliminó el sobrenadante. El sedimento resultante se dispuso en un secador de bandejas a 40 - 45 °C hasta obtener una humedad entre 11 - 13%, se tamizó el almidón obtenido para dar uniformidad en el tamaño del gránulo, se pesó y almacenó en bolsas de polipropileno.

Con fines comparativos, se incluyeron en los resultados la caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional de un almidón comercial de maíz de la marca Dispropan ®, esto debido que es el almidón más utilizado a nivel industrial y de mayor disponibilidad.

5.4 Determinación de las Propiedades Fisicoquímicas del Almidón de Dos Variedades de Papa Nativa

5.4.1 *Análisis Bromatológico*

Se realizó un análisis proximal conforme a los métodos oficiales de análisis de la Association of Official Analytical Chemists - AOAC, (2011) evaluando: carbohidratos totales (ELN), fósforo (995.11), humedad (925.09), cenizas (923.03), grasa (920.39) y proteína cruda (954.01).

5.4.2 *Forma y Tamaño del Granulo de Almidón*

Se realizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), donde, se registraron imágenes de la morfología y tamaño de los gránulos de almidón en un microscopio electrónico de barrido Quanta 200 marca FEI. Se utilizaron los parámetros reportados en la metodología de

Cisneros et al. (2018), con una distancia de trabajo de 7,5 mm, voltaje de aceleración de 25 kV, y posición del lente del condensador de 60; el aumento para las microfotografías fue de 2000X.

5.4.3 *Contenido de Amilosa*

Se determinó de acuerdo a la ISO 6647 (1987) para ello se usó un patrón de amilosa (papa) Sigma – Aldrich. Se realizó una curva estándar representando la absorbancia de la fracción de amilosa, con un $R^2=0,956$ y realizada con soluciones de 0,10,15,20,25,30,35 y 40% de amilosa. De la muestra de almidón a analizar se tomaron 100 mg, se mezclaron con 1 mL de etanol (95%) y 9 mL de hidróxido de sodio (0,1 M), la mezcla se calentó por 10 min a 70 °C ; una vez el almidón se dispersó se aforó hasta 100 mL con agua destilada .

De la muestra preparada anteriormente, se tomaron 2,5 mL y se mezclaron con 25 mL de agua destilada, 0,5 mL de ácido acético 1M y 1 mL de solución de yodo; se aforó el volumen hasta los 50 mL , se agitó y se dejó en reposo durante 10 minutos.

Se midió la absorbancia del material de estudio a 600 nm frente al blanco que se preparó siguiendo el procedimiento anterior, sustituyendo la muestra problema por 2,5 mL de NaOH 0,09 mol/L.

5.4.4 *Colorimetría*

Se calculó el índice de blancura (IW) (Hirschlher, 2012) y diferencial de color (ΔE) (Maniglia y Tapia, 2016), mediante las coordenadas de la escala CIELab, para lo cual se tomaron mediciones con un colorímetro Konica Minolta CM-5, observador 10° iluminante D65, y parámetros de calibración $Y= 89,5$; $x=0,32$; $y=0,34$. Para el cálculo de los índices se utilizaron las ecuaciones (1) y (2).

$$IW=100-\sqrt{(100-L^*)^2+(a^*)^2+(b^*)^2} \quad (1)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L)^2 + (a^* - a)^2 + (b^* - b)^2} \quad (2)$$

5.4.5 Difracción de rayos x

Se realizó según la metodología de Cruz et al. (2016), con un Difractómetro de rayos X marca PANalytical modelo X'PERT PRO MPD. Los datos se recolectaron en el rango $5^\circ \leq 2\theta \leq 60^\circ$ a $20^\circ/\text{min}$ de velocidad de ejecución para determinar el área amorfa y las fases cristalinas del patrón de rayos X de cada muestra.

5.5 Determinación de las Propiedades Funcionales del Almidón de Dos Variedades de Papa Nativa

5.5.1 Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA) Y Poder de Hinchamiento (PH)

Se realizó mediante la metodología propuesta por Anderson et al. (1969), con algunas modificaciones. Se prepararon dispersiones de almidón en agua destilada (4% p/v), y se calentaron en un equipo de baño María modelo WNB7 marca Memmera temperaturas de 60, 70, 80 y 90 °C. Las suspensiones se dejaron enfriar hasta 25 °C, para ser centrifugadas a 4.900 rpm durante 30 minutos en una Centrífuga Dinámica Velocity.18R. Se sobrenadante se separó del gel y se pesaron por separado. Se tomaron 2 mL del sobrenadante y se secaron a 70 °C para registrar el peso del sobrenadante seco. IAA, ISA y PH se determinaron de acuerdo a las ecuaciones (3), (4) y (5).

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \quad (3)$$

$$ISA = \frac{\text{Peso seco sobrenadante (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100 \quad (4)$$

$$PH = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)} - \text{Peso seco del sobrenadante (g)}} \quad (5)$$

5.5.2 Estabilidad en Refrigeración y Congelación

La estabilidad en refrigeración y congelación se realizó mediante la metodología propuesta por los autores Eliasson y Ryang (1992) y Hernández et al. (2008). Se prepararon dispersiones de almidón con agua destilada (4% p/v), las dispersiones se calentaron a 70 °C durante 30 min (momento de la formación de los geles), los geles formados se almacenaron en condiciones de refrigeración (4 °C) y congelación (-10 °C), durante 7 días. Los geles formados se sometieron a centrifugación por 10 min a 3000 rpm por cinco días, donde se midió el agua liberada. La estabilidad representa la sinéresis, que es expresada como la relación entre el peso de agua separada y el peso total de la muestra. La sinéresis se determinó de acuerdo a la ecuación (6) (Vargas et al., 2016).

$$\% \text{Sinéresis} = \frac{\text{Peso del agua separada (g)}}{\text{Peso total de la muestra (g)}} \times 100 \quad (6)$$

5.5.3 Análisis de Variables Térmicas Mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y Análisis Termogravimétrico (TGA)

Las variables térmicas se midieron de acuerdo a la metodología propuesta por Kaur et al., (2007); Van et al. (2017) y Reddy et al. (2015). Este análisis se realizó con un Calorímetro de barrido diferencial DSC Q20 marca TA Instruments, para ello, en un recipiente de aluminio se

pesaron 3 mg de almidón y se agregaron 10 mL de agua destilada, el recipiente se selló herméticamente y se calentó de 30 a 120 °C, con una velocidad constante de 10 °C/min. Como referencia se utilizó un recipiente vacío de las mismas características, . De los termogramas obtenidos se determinó la temperatura inicial de gelatinización (T_o), la temperatura de gelatinización pico (T_p), la temperatura final de gelatinización (T_f) y la entalpía de gelatinización (ΔH).

El análisis termogravimétrico se realizó mediante la metodología indicada por Freschi et al. (2014); Granda y Ramos (2009), empleando el equipo termogravimétrico Q50 marca TA Instruments, en el cual se utilizó una atmosfera de N_2 como gas inerte a una velocidad de 10 mL por min, se pesó en placas de aluminio entre 10 y 20 mg de almidón y se sometió a calentamiento desde temperatura ambiente hasta 300 °C con una velocidad de calentamiento de 5 °C/ min.

5.5.4 Pruebas Texturales

Para las pruebas texturales se siguió la metodología propuesta por Casas y Pardo (2005). Se prepararon dispersiones de almidón a diferentes concentraciones: 4%, 8%, 12% y 16%, las cuales fueron llevadas a calentamiento hasta la formación del gel, a cada gel formado se le midió la firmeza con ayuda de un Texturómetro Lloyd LS1SH-115V con un cilindro acrílico de 10 mm de diámetro, a una velocidad de 10 mm/min (1,67 cm/s).

5.5.5 Perfil Amilográfico

Se realizó en un reómetro rotacional marca TA Instruments AR1500 con dispersiones de almidón al 8% p/v con una velocidad de 12,2°C/min, elevando la temperatura de 50 a 90 °C, se mantuvo esta temperatura por 15 min. Por último, se bajó la temperatura hasta 50 °C a la misma velocidad de calentamiento (Hernández et al., 2008).

5.6 Determinación de las Propiedades Nutricionales del Almidón de Dos Variedades de Papa Nativa

A los almidones extraídos de las variedades de papa nativas se les realizó: análisis de almidón resistente (AR), almidón de rápida digestión (ADR) y almidón de digestión lenta (ADL).

5.6.1 Análisis de Almidón Resistente (AR), Almidón de Digestión Rápida (ADR) y Almidón de Digestión Lenta (ADL)

Se determinó ADR, ADL y ADT utilizando el kit enzimático de Megazyme (Bray, Co. Wicklow. A98 YV29, Ireland) K-DSTRS 06/19 y el blanco fue una solución de 0,2 L de ácido acético (100 mM) y 3 mL de reactivo GOPOD (Glucosa oxidasa más peroxidasa y 4-Aminoantipirina). Se realizó una digestión *in vitro* a diferentes concentraciones de α -amilasa pancreática (PAA) y amiloglucosidasa (AMG). Para el análisis de AR el blanco fue 3 mL de GOPOD y 0,1 mL de buffer acetato (100 mM) que se incubó a 50 °C durante 20 min.

Para determinar ADR, ADL y ADT se utilizó la metodología reportada por Englyst et al. (2006) y Agama et al. (2013). Se pesaron 500 mg de almidón al cual se le agregó 1 mL de Etanol (95% v/v) y 35 mL de buffer maleato, sometiéndolo a una primera incubación a 37 °C durante 5 min y con una agitación de 170 rpm, se agregaron 5 mL de PAA/AMG y se sometió a una segunda incubación a 35 °C y 170 rpm y se tomó 1 mL de la solución en reacción a los 20 min para determinar ADR, 120 min para ADL y 240 min para ADT. Al tomar la muestra inmediatamente se agregaron 20 mL de ácido acético (50 mM) y se almacenó a 4 °C. De cada solución se tomaron 2 mL para centrifugar a 13.000 rpm durante 5 min y por duplicado se tomaron 0,1 mL a los que se adicionó 0,1 mL de AMG (100 U/mL) para incubarlos a 50 °C durante 30 min, después se agregó 3 mL de GOPOD e incubó de nuevo a 50 °C por 20 min, finalmente se tomó lecturas de absorbancia a 510 nm en un espectrofotómetro CM5-Konica Minolta.

Siguiendo la metodología propuesta por Goñi et al. (1996), se realizó el análisis de AR. Para ello se tomaron 4 mL a los 240 min de la solución de incubación (muestra de almidón más PAA/AMG), se agregó 4 mL de etanol (95% v/v) y se agitó. La muestra se centrifugó a 4.000 rpm por 10 min, se retiró el sobrenadante y el pellet se volvió a suspender con 2 mL de etanol (50% v/v) y se agitó en un vortex de marca SCILOGEX MX-S. Luego, se agregó 6 mL de etanol (50% v/v), se volvió a agitar y a centrifugar, se recuperó el pellet y se repitió la etapa de nuevo.

Al finalizar la etapa se agregaron 2 mL de NaOH (1,7 M), se volvió a suspender el pellet y se agitó por 20 min en un baño de hielo/agua. Al terminar el baño se agregó 8 mL de acetato de sodio (1M) más 0,1 mL de AMG (3.300 U/mL) con agitación e incubó a 50 °C durante 30 min.

La muestra con AR>10% se transfirió a un matraz volumétrico y se ajustó el volumen con agua destilada hasta 100 mL, se tomó una alícuota de 2 mL de la solución y se centrifugó a 13.000 rpm durante 5 min. De la muestra con AR<10% se centrifugó una parte de la solución de 2 mL sin diluir a 13.000 rpm durante 5 min.

Se tomó por duplicado alícuotas de 0,1 mL de los sobrenadantes centrifugados y se agregó 3 mL de GOPOD, se incubaron a 50°C durante 20 min y finalmente se tomó lecturas de absorbancia a 510 nm en un Espectrofotómetro CM5-Konica Minolta.

Para el cálculo de AR, ADR y ADL se usaron las ecuaciones (7) y (8) de McCleary, (2018) y McCleary et al. (2012/2015).

$$ADR, ADL \text{ o } ADT = \Delta A * F * \frac{EV}{W} * 0,0189 \quad (7)$$

$$AR = \Delta A * F * \frac{EV}{W} * 0,000225 \quad (8)$$

Donde, ΔA = Absorbancia de la reacción leída al pasar 20 min (ADR); 120 min (ADL) y a los 240 min ADT.

$F = \text{Conversión de absorbancia a microgramos } (\mu\text{g}) = [100 (\mu\text{g de D-glucosa}) / \text{absorbancia para } 100 \mu\text{g de D-glucosa}]$

EV= Volumen de extracción en mL.

W = Peso en g de la muestra analizada

5.7 Diseño Experimental

Para la caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional se utilizó un diseño experimental unifactorial aleatorizado categórico con tres niveles (Almidón de maíz y almidón de papa variedades Ratona blanca y Andina). Las mediciones para cada variable de respuesta se realizaron por triplicado. Se llevó a cabo un análisis de varianza y una prueba de comparación LSD de Fisher a un 95% de nivel de confianza con ayuda del software STATGRAPHICS Centurion XVIII.

6. Resultados y Discusión

6.1 Propiedades Fisicoquímicas

6.1.1 *Análisis Bromatológico*

La Tabla 3 muestra los valores obtenidos del análisis fisicoquímico de los almidones de papa y maíz. El contenido de humedad en los dos almidones de papa fue aproximadamente de 11%, presentando diferencias estadísticamente significativas con el almidón maíz, el cual tuvo menor humedad ($p\text{-Valor} < 0,05$). Estos resultados son acordes con la información reportada por Leiva y Obando (2014), quienes señalan un rango de humedad entre 11,02 y 19% para almidón de diferentes variedades de papa (p. 33). De la misma manera, Abdelmaguid y Abozeid (2015), reportan un valor cercano de 10,62% para almidón de papa nativa (p. 563). Estos valores varían por factores como la variedad y el proceso de aislamiento del almidón (Martínez et al., 2019, pp.3-5). “Generalmente, en la industria de alimentos se requieren almidones con un contenido de humedad entre el 11% y 13%, debido a que valores mayores, pueden causar que los almidones sean más propensos a sufrir ataques microbiológicos e inestabilidad durante su conservación” (Zárate-Polanco et al, 2014, p.11).

Para carbohidratos totales se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-Valor} < 0,05$) entre todos los almidones evaluados. El almidón de las variedades Andina y Ratona blanca presentaron menor contenido de este componente en comparación a almidón de maíz. Estos resultados se encuentran por debajo de los reportados por Martínez et al. (2015), quienes obtuvieron un 98,8 % de carbohidratos para almidón nativo de papa (p. 294). Por otro lado, Hanco (2021), reportó un valor de 91,13% para almidón de papa nativa, el cual es similar a los resultados de los almidones de papa en el presente estudio. “El porcentaje de carbohidratos permite determinar la pureza del almidón, a mayor proporción de este componente, mayor pureza” (Singh y Kaur, 2009, p.58), sin embargo, la variabilidad en su contenido puede estar

relacionado con el método de extracción, ya que en la obtención del almidón de papa, la filtración es una etapa que puede afectar el contenido de componentes de gran tamaño como los carbohidratos, y en el caso del almidón comercial de maíz, generalmente, se somete a un proceso de purificación para reducir su contenido de proteínas (Marín, 2016), obteniendo así, un mayor contenido de carbohidratos totales. Así mismo, “otro factor es la temperatura ambiental del cultivo, ya que temperaturas superiores a 21 °C, retrasan la acumulación de carbohidratos en los tubérculos” (Loyola et al. 2010, p.46).

Los resultados en el contenido de proteína (Tabla 3) exhiben diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-Valor} < 0,05$) entre los almidones estudiados. Como se evidencia, los almidones de papa presentan menor contenido de proteína respecto al de maíz. Vargas et al. (2016) y Alvis et al. (2008), obtuvieron valores de proteína entre 0,47 y 0,6% para almidones de papas nativas, los cuales son mayores a los obtenidos para los almidones de papa de la presente investigación. Según Debet y Gidley (2006), los almidones de tubérculos contienen pequeñas cantidades de proteína ($<0,1\%$) en comparación de los almidones de cereales, los cuales contienen de 0,25 a 0,6 %, debido a su fuente de origen. En el caso de los cereales, el almidón se desarrolla en el endospermo, el cual también alberga un alto contenido de proteínas presentes en el grano de cereal, a diferencia de la papa, la cual desarrolla el almidón en el parénquima, siendo más propensa a perder proteínas por acción de las vacuolas (Medina et al., 1990; Wang, 2020). Autores como Mishra y Rai (2006) y Vargas et al. (2016), mencionan que un alto contenido de proteínas en el almidón, puede tener efectos indeseables como el sabor harinoso y la tendencia a formar espuma; sin embargo, el contenido de proteína en los almidones de papa estudiados es bajo, por lo que son aceptables y no presentarán tales defectos. En esa misma idea, Jimenez (2016), menciona que “el bajo contenido de proteína, resulta atractivo en industria alimentaria, ya

que, en algunos procesos, logra evitarse las reacciones de Maillard que se pueden presentar durante el procesamiento” (p. 65).

Adicionalmente las diferencias en el contenido proteína en el almidón de papa con respecto al de maíz, se deben a al tamaño y morfología del gránulo, el método de extracción y principalmente a la fuente botánica de donde proviene, ya que, la variabilidad de los componentes del almidón se origina en la biosíntesis, que está controlada por múltiples genes que están sujetos a controles de desarrollo e influencias ambientales (Medina et al., 1990; Wang, 2020). Sumado lo anterior, también intervienen factores físicos ambientales de cada región donde los tubérculos son cultivados, como lo son el tipo de suelo del cultivo, la temperatura y la ausencia o abundancia de lluvias (Diaz Barrera, 2015, p. 54; Lawal y Adebawale, 2005, p.333).

La grasa presente en los almidones de papa (Tabla 3) no muestra diferencias estadísticamente significativas entre las dos variedades ($p\text{-Valor} > 0,05$), pero si evidenciaron diferencias significativas ($p\text{-Valor} < 0,05$) con respecto al almidón de maíz. Varios autores han reportado contenido de grasa en un rango de 0,20 a 0,23% para almidón nativo de papa (Abdelmaguid y Abozeid, 2015; Verma et al., 2018). Los anteriores valores se acercan a los resultados encontrados en la presente investigación.

La diferencia del contenido de grasa entre los almidones de papa y el de maíz, se debe a que en general los almidones de cereales tienen muchos más lípidos internos (lípidos monoacílicos como ácidos grasos libres y lisofosfolípidos) que superficiales, mientras que los almidones de papa tienen pequeñas cantidades de lípidos superficiales (fosfolípidos) y probablemente ningún lípido interno (Morrison, 1981). El alto contenido de grasas podría generar cambios físicos en el color y la turbidez, como también, en algunas propiedades funcionales (Martínez et al., 2019, p .4; Mishra y Rai, 2006, p. 569).

El contenido de ceniza de los almidones de las variedades de papa (Tabla 3) no presenta diferencias estadísticamente significativas entre ellos ($p\text{-Valor} > 0,05$), en cambio, si presentaron diferencias con respecto al almidón de maíz ($p\text{-Valor} < 0,05$). Autores como Martínez et al. (2019), informan un rango de 0,22 a 0,29% de cenizas para almidón de papa nativa (p. 4). Por otra parte, Schmiele et al. (2019) y Luque et al. (2021), reportan un contenido de cenizas en almidón de papa nativa de 0,4% y 0,44% respectivamente. Los anteriores autores presentaron contenidos de cenizas muy por debajo de los resultados encontrados en la presente investigación. El contenido de cenizas es referido como el análisis de residuos inorgánicos que quedan después de la oxidación completa de la materia orgánica de un alimento, en general, las cenizas suponen menos del 5% de la materia seca de los alimentos y, junto con el agua, son los únicos componentes de los alimentos que no se pueden oxidar en el organismo para producir energía (Márquez Sigas, 2014). El almidón de papa tiene un contenido de cenizas relativamente alto debido a la presencia de grupos fosfato, éste es el único almidón que contiene una cantidad apreciable de grupos monoésteres de fosfato con carga negativa, los cuales están unidos exclusivamente a las moléculas de amilopectina de la papa (Swinkels, 1985).

El contenido de fósforo de los almidones de papa y maíz (Tabla 3) presentaron diferencias significativas ($p\text{-Valor} < 0,05$), presentando la variedad Andina y Ratona blanca valores superiores al del almidón de maíz. Martínez et al. (2019) reportan valores cercanos, señalando un rango entre 0,05 y 0,08% (p. 4), al igual que Schmiele et al. (2019), quienes señalaron un 0,08% de fósforo para diferentes almidones de papa nativa (pp. 1-22).

La presencia de fósforo tiene una influencia importante en las propiedades funcionales del almidón de papa, está presente principalmente como “monoésteres de fosfato, los cuales se acoplan a la fracción de amilopectina a través de enlaces covalentes” (Wang, 2020, p. 16). Comúnmente, los almidones de papa con un alto grado de fosforilación son muy deseables

porque confieren buenas propiedades funcionales, como mayor viscosidad, transparencia y capacidad de retención de agua, debido a que los grupos fosfato generan una repulsión en las cadenas adyacentes, incrementando la hidratación por el debilitamiento de los enlaces dentro de la parte cristalina del gránulo (Rodríguez et al., 2012).

Tabla 3

Análisis bromatológico de almidón de papa y maíz.

Parámetro	Almidón de papa nativa		Almidón comercial de maíz
	Andina	Ratona Blanca	
Humedad (%)	11,5 ± 0,1 ^b	11,3 ± 0,2 ^b	10,7 ± 0,3 ^a
Carbohidratos totales (%)	88,5 ± 0,7 ^a	90,6 ± 0,3 ^b	92,3 ± 0,2 ^c
Proteína (%)	0,07 ± 0,00 ^b	0,04 ± 0,003 ^a	0,4 ± 0,03 ^c
Grasa (%)	0,18 ± 0,004 ^a	0,26 ± 0,003 ^a	0,5 ± 0,03 ^b
Ceniza (%)	0,6 ± 0,04 ^b	0,6 ± 0,05 ^b	0,2 ± 0,01 ^a
Fósforo (%)	0,09 ± 0,00 ^c	0,08 ± 0,00 ^b	0,02 ± 0,00 ^a
Amilosa (mg/L)	34,70 ± 4,73 ^a	35,51 ± 3,05 ^a	21,5 ± 2,50 ^b

Nota. Los valores representan la media y la desviación estándar (±) de 3 repeticiones. Los valores que no comparten la misma letra, presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos (p-Valor < 0,05). Fuente: Esta investigación.

6.1.2 *Contenido de Amilosa*

Según los resultados presentados en la Tabla 3, se observa un mayor contenido de amilosa en el almidón de papa en comparación con el de maíz, evidenciando diferencias significativas entre estos (p -Valor $<0,05$). Los valores encontrados son superiores a los reportados por Martínez et al. (2015) y Rodríguez Aguilar(2013), quienes informaron contenidos máximos de amilosa alrededor de 29% (bs) en almidones nativos obtenidos de papa *Solanum phureja*. Por otra parte, los resultados encontrados en la presente investigación, se encuentra dentro de los rangos de amilosa para almidón de papa reportados por Zárate-Polanco et al. (2014), (14,05 a 49%), Castillo Santos(2017), (32,97 y 38,45%) y Gremasqui et al. (2015), (18,20 a 37,55%).

Las variaciones de los resultados pueden ser causadas por varios factores relacionados a la síntesis del almidón, incluida la genética, el estado metabólico celular y condiciones ambientales,, que a su vez afectan la actividad de las enzimas almidón sintasas unida al gránulo (GBSS), las cuales son responsables de la síntesis de amilosa durante el cultivo (Ragel de la Torre, 2012; Tofiño et al., 2006). Adicionalmente, la amilosa se sintetiza después la formación de la matriz cristalina (producida por la amilopectina), depositándose en el espacio disponible en el gránulo de almidón, que define su distribución dentro del mismo y, en consecuencia, las características fisicoquímicas del almidón (Agamaet al., 2013).

Sumado a lo anterior, Utrilla Coello (2007) afirma que “el contenido de amilosa está relacionado directamente con el tamaño de los gránulos de almidón” (p. 63), por lo que posiblemente el mayor contenido de amilosa en el almidón de Ratona blanca, se debe a la diferencia en el tamaño de gránulos (Tabla 4), en comparación con el almidón de la variedad Andina.

“El contenido de amilosa y amilopectina desempeñan un papel importante al influir en las propiedades funcionales de los almidones, por lo tanto, puede ser determinante para que éste sea

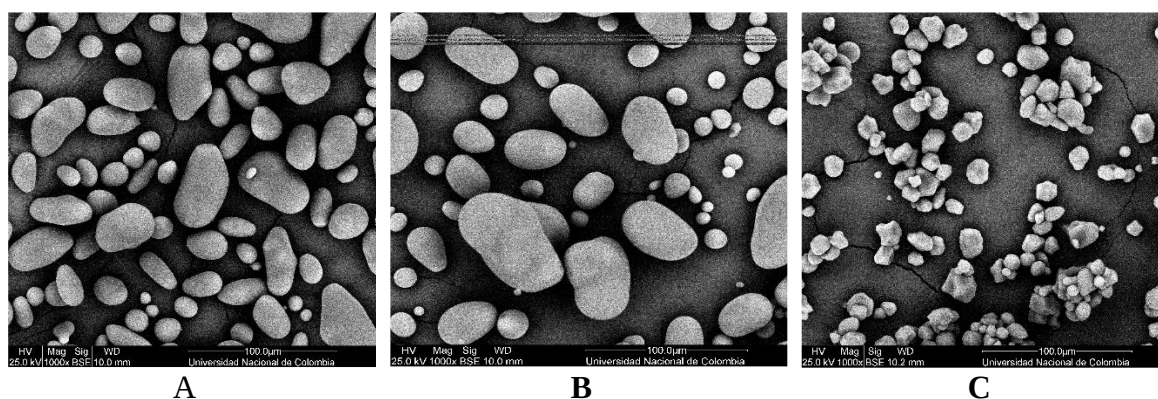
añadido a un alimento específico para mejorar sus características y apariencia” (Martínez et al., 2015, p. 295).

6.1.3 Forma y Tamaño del Granulo de Almidón

La Figura 7 muestra las formas de los gránulos de almidón de papa y de maíz. Los gránulos de papa variedad Ratona blanca (Figura 7-B), así como la variedad Andina (Figura 7-A), exhiben una distribución heterogénea de los gránulos, presentando formas redondas para los pequeños y elípticas para los grandes. Por otro lado, el almidón de maíz (Figura 7-C), presenta una forma poligonal. Datos similares han sido reportados por Bejarano Cruz (2017), para almidón extraído de papa nativa de la variedad manzana (p. 20), al igual que Mercedes Lecca (2017), en la investigación realizada con almidón de papa nativa águila y shuita (p. 39), donde afirman que los gránulos de almidón poseen formas ovoides y esféricas. Sumado a esto Jiranuntakul et al. (2011), reportan que “los gránulos de diferentes almidones de papa, tienen forma redondeada y elíptica con superficie lisa” (p. 248). Adicionalmente, se evidencia que los gránulos de almidón de papa nativa son más grandes en comparación con los de maíz, los cuales presentan una forma irregular, poligonal y se asumen poliédricas irregulares en el espacio como lo menciona Medina y Salas, (2007)(p. 58).

Figura 7

Microfotografías de gránulos de almidón de papa y maíz.



Nota. A: Almidón de papa Andina. B: Almidón de papa Ratona blanca. C: Almidón de Maíz.

Fuente: Esta investigación.

De acuerdo a los valores presentados en la Tabla 4, se encontró que los gránulos de almidón de papa fueron más grandes que los de almidón de maíz. El almidón de papa variedad Ratona blanca fue la variedad con mayor tamaño de granulo, con un eje mayor hasta de 84 μm y un eje menor hasta de 82 μm .

En la Figura 8 se observa que los valores de eje mayor presentan sesgamiento entre el almidón de la variedad Andina y Ratona blanca, evidenciando que no existen diferencias (p-Valor $>0,05$) entre estos dos materiales. Por otro lado, los resultados del almidón de maíz, fueron inferiores al almidón de variedad Andina, y aunque se presentan valores cercanos a Ratona blanca, no hay un sesgamiento entre estos dos (Figura 8), lo que indica que existen diferencias significativas (p-Valor $<0,05$) entre los almidones de papa con respecto al almidón de maíz. Por otro lado, en la Figura 9 se observa que los valores de eje menor son similares para los tres almidones, por lo que no presentan diferencias estadísticamente significativas (p-Valor $>0,05$).

Quilca Burga (2007), encontró valores inferiores a los reportados en la presente investigación, con un eje mayor de 26 a 50 μm y eje menor de 18 a 32 μm para 10 ecotipos de papa nativa. Por otra parte, los resultados encontrados se encuentran dentro de los rangos informado por Singh y Kaur (2004) y Cáceres et al. (2012), quienes establecieron un tamaño de granulo de 5 a 85 μm y 0,5 a 120 μm respectivamente, para almidón de papa.

Algunos estudios han demostrado que el tamaño del gránulo puede influir en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y nutricionales, pues se ha determinado que gránulos grandes pueden generar viscosidad alta de pasta y mayor poder de hinchamiento, mientras que los gránulos pequeños pueden contribuir a una mayor digestibilidad (Casarrubias et al., 2012; Cornejo et al., 2018; Qi y Tester, 2016). Por esta razón, el tamaño del granulo es un factor importante en la aplicación de diferentes sistemas alimentarios y cualidades nutricionales.

Tabla 4

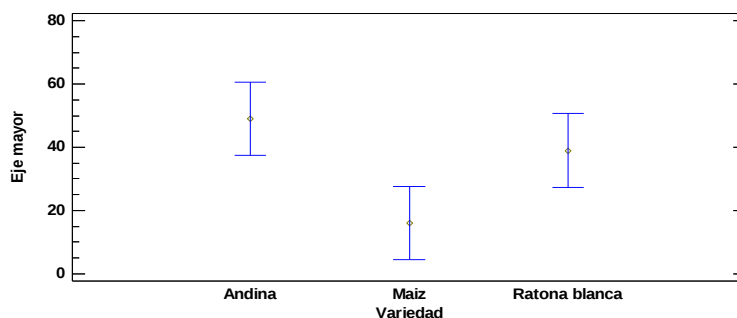
Dimensiones de los gránulos almidón de papa y maíz.

Almidón	Eje mayor (μm)	Eje menor (μm)
Papa Andina	27 – 66	0,95 – 66
Papa Ratona blanca	16 – 84	0,95 – 82
Maíz	10 – 20	2 – 20

Fuente: Esta investigación.

Figura 8

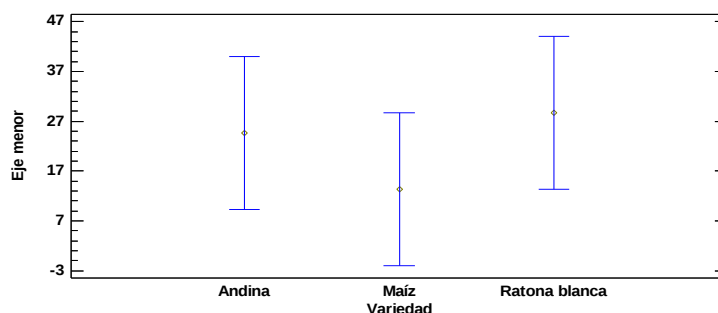
Gráfico de medias y LSD de Fisher al 95% de confiabilidad para eje mayor de granulos de almidón de papa y maíz.



Fuente: Esta investigación

Figura 9

Gráfico de medias y LSD de Fisher al 95% de confiabilidad para eje menor de gránulos de almidón de papa y maíz.



Fuente: Esta investigación.

La morfología y el tamaño se relaciona de manera directa con la fuente de extracción y en muchas ocasiones puede ser utilizado como criterio taxonómico para identificar la fuente vegetal del almidón (Singh et al., 2003, pp. 246-258). El tamaño puede asociarse también a la variedad, el estado de madurez del tubérculo y las condiciones del medio, estos dependen además de la bioquímica de los cloroplastos y los procesos que suceden en la síntesis propia del almidón a

través de la fotosíntesis; las diferencias también son atribuidas a las estructuras membranasas y características físicas de los plastidios, que influyen en la morfología de los gránulos de almidón y afectan el arreglo molecular de la amilosa y amilopectina dentro del granulo (Díaz Barrera, 2015; Romero y Garnica, 2009).

6.1.4 Colorimetría

Los resultados de la evaluación del color superficial presentados en la Tabla 5 indican que existen diferencias significativas ($p\text{-Valor} < 0,05$) entre los tres almidones. Para el caso de la luminosidad, los valores son cercanos a 100, destacando al almidón de maíz y el de papa Ratona blanca como los almidones más luminosos. Para Leguía Hurtado (2017), la luminosidad reportada para almidones de papas nativas osciló entre 95,06 y 96,06; los cuales se encuentran por encima de los valores de los almidones de papa Andina y Ratona blanca obtenidos en esta investigación. Asimismo, Palomino Mallma (2018), obtuvo valores de luminosidad similares a los valores presentados para los almidones de estudio, reportando un rango de 94,45 a 95,60 para almidones de papa nativa.

Los valores de a^* y b^* se ubicaron en una zona del diagrama $CIE_{L^*a^*b^*}$ en donde la saturación del color es prácticamente nula. Por lo tanto, se confirma que el almidón de papa, tanto como el de maíz tienen un color blanco sin tonalidades de otros colores. Leguía Hurtado (2017) y Palomino Mallma (2018), reportaron valores para a^* en un rango de -1,35 a -1,20 y valores de b^* entre 1,34 y 2,52, para diferentes almidones de papa nativa, los cuales son cercanos a los valores obtenidos para los almidones de estudio.

Las diferencias presentadas en los resultados de las coordenadas cromáticas se pueden deber a dos factores: “primero, condiciones operacionales de extracción de los almidones como concentración de antioxidante, pH, calidad del agua, entre otros. Segundo, a factores de la

composición en amilosa y amilopectina propia de cada variedad de papa” (Castillo Santos, 2017, p. 46), que de alguna manera afectan las propiedades ópticas de los mismos.

Los resultados del Índice de blancura (IW) no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-Valor} > 0,05$) entre el almidón de la variedad Ratona y maíz, pero si se presentaron entre estas y el almidón de la variedad Andina ($p\text{-Valor} < 0,05$). Dichas diferencias pudieron generarse debido al método de purificación empleado en su extracción (Neeraj et al., 2021, p. 2813; Singh et al., 2014, pp. 7-8). “Una superficie blanca ideal debe tener un Índice de blancura (IW) igual a 100” (Montoya et al., 2012, p. 416). Los resultados obtenidos indicaron alto índice de blancura de las muestras de almidón, valores superiores a 90, reflejando alta pureza del almidón aislado; esta característica es un parámetro de calidad en la industria, que podría permitir su uso en diversas aplicaciones alimentarias, donde se recomienda la estandarización del color (Barraza y Siche, 2021, p. 84; Manzanilla Rojas, 2018, p. 24).

Los valores de ΔE , presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-Valor} < 0,05$) entre los tres almidones. La variedad Andina presentó un valor inferior a 3, lo que indica una mínima diferencia que podría ser perceptible al ojo humano ($1 < \Delta E < 3$). Por otro lado, el almidón de la variedad Ratona blanca presentó valores mayores a tres y el almidón de maíz obtuvo un ΔE alrededor de 5,3 evidenciando obvias diferencias de color perceptible al ojo humano. Estas diferencias se pueden presentar por factores como la variedad y/o presencia de compuestos del almidón (lípidos, proteínas, entre otros) los cuales generan cambios notables en el producto (Leguía Hurtado, 2017; Soto y Yantas, 2012).

Tabla 5

Coordenadas colorimétricas, índice de blancura (IW) y diferencial de color (ΔE) de almidón de papa y maíz.

Almidón	L*	a*	b*	IW	ΔE
Papa Andina	91,2 $\pm$ 0,07 ^a	0,5 $\pm$ 0,02 ^a	4,6 $\pm$ 0,13 ^a	90,0 $\pm$ 0,02 ^a	2,1 $\pm$ 0,27 ^a
Papa Ratona blanca	94,5 $\pm$ 0,18 ^b	0,0 $\pm$ 0,02 ^b	3,6 $\pm$ 0,04 ^b	93,4 $\pm$ 0,07 ^b	3,1 $\pm$ 0,13 ^b
Maíz	96,9 $\pm$ 0,41 ^c	-0,6 $\pm$ 0,05 ^c	5,0 $\pm$ 0,12 ^c	94,1 $\pm$ 0,13 ^b	5,3 $\pm$ 0,36 ^c

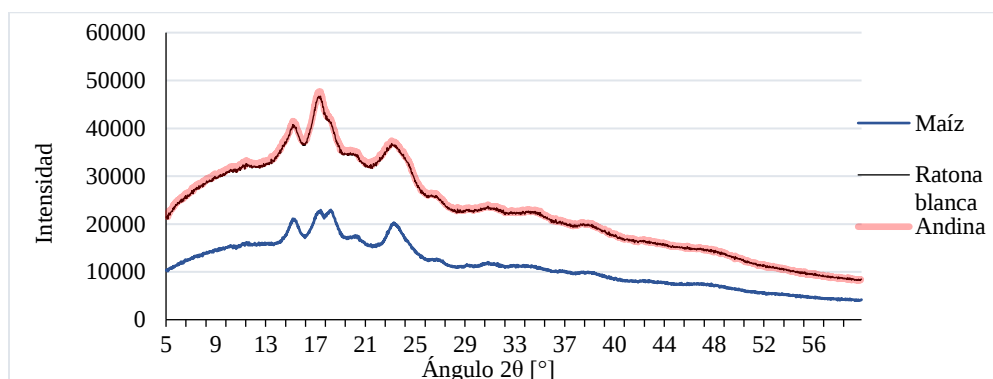
Nota. Los valores representan la media y la desviación estándar ($\pm$) de 3 repeticiones. Los valores que no comparten la misma letra de índice, presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos (p-Valor < 0,05). Fuente: Esta investigación.

6.1.5 Difracción de Rayos X

La figura 10 muestra los patrones de difracción de rayos X de los almidones de papa y maíz. El almidón de maíz presentó un patrón de difracción tipo A con un doblete alrededor de 17,15 y 18,03° de 2 θ . También presento fuertes picos de difracción alrededor de 15,11 y 23,03° de 2 θ . El almidón de papa variedad Andina y Ratona blanca presentaron patrones de difracción de tipo B, con un pico de mayor intensidad a 17,21 y 17,11° de 2 θ respectivamente y un pico de mediana intensidad a 5,8 y 5,98° de 2 θ , respectivamente. Además, se presentaron picos pequeños alrededor de 14,20°, 15,17°, 19,66°, 22,06° y 24,27° de 2 θ para la variedad Andina y 14,33°, 14,99°, 22,19 ° y 24 ° de 2 θ para Ratona blanca.

Figura 10

Patrones de difracción de rayos X de almidón de papa y maíz.



Fuente: Esta investigación.

Por otro lado, como se muestra en la Tabla 6 el porcentaje de cristalinidad no muestra diferencias estadísticamente significativas entre las dos variedades de papa ($p\text{-Valor} > 0,05$), sin embargo, si presentaron diferencias con el almidón de maíz ($p\text{-Valor} < 0,05$), siendo mayor el porcentaje de cristalinidad en el almidón de papa.

Tabla 6

Grado de cristalinidad para almidón de papa y maíz.

Almidón	Cristalinidad (%)
Papa Andina	$22,94 \pm 0,2^a$
Papa Ratona Blanca	$23,99 \pm 0,6^a$
Maíz	$17,45 \pm 0,4^b$

Nota. Los valores representan la media y la desviación estándar ($\pm$) de 3 repeticiones. Los valores que no comparten la misma letra de índice, presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos ($p\text{-Valor} < 0,05$). Fuente: Esta investigación

Resultados similares fueron reportados por Martínez et al.(2019); Rodríguez et al. (2018) y Xu et al. (2013), quienes informan un patrón de difracción tipo B para almidones de raíces y tubérculos, los cuales mostraron un fuerte pico de reflexión de 17° de 2θ y varios picos medios alrededor de 5° , 15° , 20° , 22° y 24° de 2θ , que son típicos de los gránulos de almidón semicristalino.

En este estudio los valores de cristalinidad de los almidones de papa son superiores a los reportados por Pardo et al. (2013) los cuales están entre 9,19 y 17,65% para almidones de diferentes variedades de papa. Por otro lado, Martínez et al. (2019) exhiben cristalinidades mayores (34,4 y 36,3%) para almidones de papas nativas andinas. A pesar de lo anterior, Alvani et al. (2011) informaron que “los valores de cristalinidad del almidón oscilan entre el 15% y el 45%, dependiendo no solo de la fuente y el contenido de humedad del almidón, sino también de la técnica utilizada para determinar este parámetro” (p. 961). El hecho de que la difracción mostró patrones de tipo B y presentó porcentajes de cristalinidad diferentes, se puede explicar por “la simetría hexagonal debido al empaquetamiento de doble hélice hidratada de la amilopectina” (McPherson y Jane, 1999, p. 62).

La cristalinidad en almidón está asociada con el contenido y las características estructurales de la amilopectina, así como con la fase amorfa con la amilosa (Della Valle, 2007, p. 28; Prieto-Mendez et al., 2010, p. 35). No obstante, el almidón de maíz presentó una cristalinidad inferior al almidón de las variedades de papa, a pesar de tener mayor contenido de amilopectina. Probablemente causado por el mayor grado de polimerización de las cadenas largas y ramificadas de la amilopectina, características del almidón de tipo B (tubérculos), presentando mayor grado de cristalinidad frente al almidón de tipo A (cereales), el cual consta de cadenas más cortas de amilopectina y menor grado de polimerización (Dos Santos et al., 2016; Hizukuri et al., 1983).

De igual manera, las diferencias en la cristalinidad entre los almidones se pueden atribuir a diferencias en el tamaño de los cristales, el número de regiones cristalinas (influenciadas por el contenido de amilopectina y la longitud de la cadena de amilopectina), la orientación de las dobles hélices dentro de los dominios cristalinos y el grado de interacción entre las dobles hélices, que además, podrían ser influenciados por la ubicación de origen del cultivo y las condiciones ambientales de crecimiento (Ambigaipalan et al., 2011; Xu et al., 2013).

El nivel de cristalinidad puede ser importante cuando los productos con almidón son almacenados, ya que “durante el almacenamiento hay retrogradación del almidón, que modifica las propiedades de textura y nutricionales de los productos. Los almidones con mayor cristalinidad pueden retrogradar a menor velocidad” (Wang, 2020, p. 58) o “producir estructuras más resistentes a la hidrólisis por las enzimas digestivas” (Agama-Acevedo et al., 2005, p. 425; Rendon et al., 2002, p. 343)

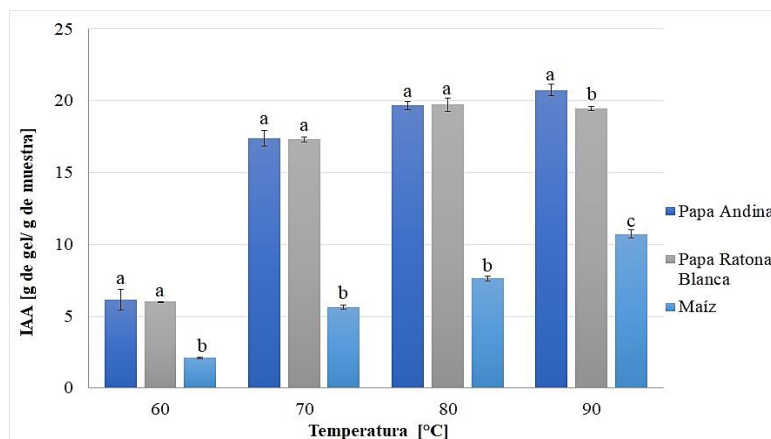
6.2 Propiedades Funcionales

6.2.1 *Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento (PH)*

Los resultados obtenidos para IAA mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-Valor} < 0,05$) entre el almidón de maíz y el de papa, en cambio, no presentaron diferencias entre las dos variedades de papa ($p\text{-Valor} > 0,05$). En la Figura 11 se muestra que el IAA de almidón de papa nativa variedad Andina presentó un valor de 6,16 a 20,74 g/g, en el rango de temperaturas evaluadas, así mismo, el de la variedad Ratona blanca presentó un rango inferior de 6,01 a 19,46 g/g. Por último, el almidón de maíz presentó el menor IAA entre todos los almidones estudiados con valores de 2,10 a 10,73 g/g.

Figura 11

Índice de absorción de agua (IAA) de almidón de papa y maíz.

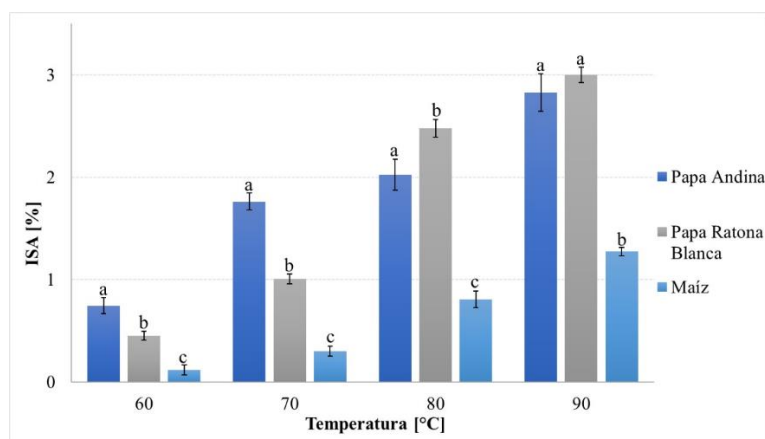


Nota. Los valores representan la media y la desviación estándar ($\pm$) de 3 repeticiones. Las barras que no comparten la misma letra de índice, presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos (p -Valor $< 0,05$). Fuente: Esta investigación.

Los resultados de ISA presentados en la Figura 12 mostraron diferencias estadísticamente significativas (p -Valor $< 0,05$) entre los distintos tipos de almidón. Los valores de ISA fueron mayores en almidón de papa variedad Andina y Ratona blanca con respecto al almidón de maíz. La variedad Ratona blanca presentó los valores más altos con un índice de 3% a una temperatura de 90 °C. El almidón de maíz presentó el menor ISA en las temperaturas evaluadas.

Figura 12

Índice de solubilidad de agua (ISA) de almidón de papa y maíz.

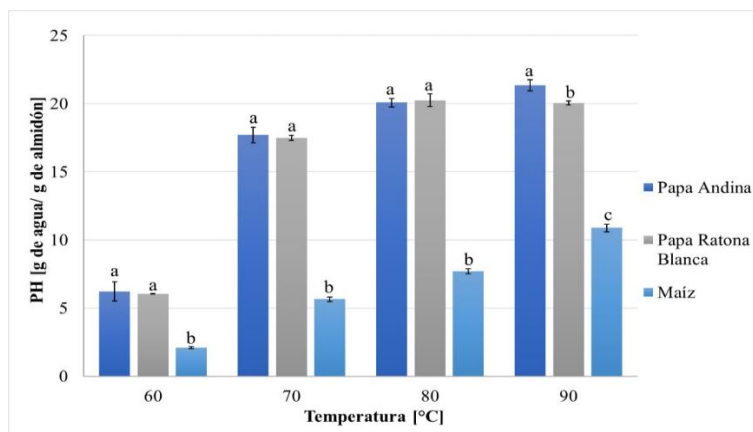


Nota. Los valores representan la media y la desviación estándar ($\pm$) de 3 repeticiones. Las barras que no comparten la misma letra de índice, presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos (p -Valor $< 0,05$). Fuente: Esta investigación.

En la Figura 13 se observa que el PH de los distintos tipos de almidón no presenta diferencias estadísticamente significativas entre las dos variedades de papa (p -Valor $> 0,05$). Sin embargo, el almidón de papa si presentó diferencias con el almidón de maíz (p -Valor $< 0,05$). El PH tiene un valor mas alto en el almidón de las dos variedades de papa en comparación al almidón de maíz, en las temperaturas estudiadas, obteniendo un PH de 6,21 a 21,35 g de agua/g de almidón para la variedad Andina y de 6,04 a 20, 06 g de agua/g de almidón para la variedad Ratona blanca, superando al almidón de maíz.

Figura 13

Poder de hinchamiento (PH) de almidón de papa y maíz.



Nota. Los valores representan la media y la desviación estándar (±) de 3 repeticiones. Las barras que no comparten la misma letra de índice, presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos (p-Valor < 0,05). Fuente: Esta investigación

La capacidad de absorción de agua, la solubilidad y el poder de hinchamiento de los almidones estudiados mostraron estar directamente relacionados con el incremento de la temperatura de preparación del gel. El aumento de temperatura debilita las fuerzas asociativas internas que mantienen la estructura granular de los almidones nativos, facilitando así el hinchamiento a medida que la temperatura aumenta (Kong et al., 2015, p.437; Peña Carrasco, 2017, p. 67).

Solarte-Montufar et al. (2019), estudiaron el IAA de almidón procedente de tres variedades de papa criolla (*Solanum phureja*); bajo la misma metodología, reportando valores inferiores en un rango de 5,20 - 9,29 g de gel/ g de muestra. Por otro lado, los valores de IAA a 70, 80 y 90°C, son comparables a los reportados por Martínez et al. (2015), para almidones

nativos de papas (*Solanum phureja*), obteniendo valores de IAA de 13 a 22,7 g/g para estas temperaturas.

Los resultados de ISA coinciden con los determinados por otros autores, quienes obtuvieron un ISA entre 0,74– 5,29 %, para los almidones de papa nativa (Garnica et al., 2010; Mercedes Lecca, 2017).

Los resultados de PH se encuentran dentro del rango reportado por Martínez et al. (2015), de 11,1 – 28,5 g de agua/ g de almidón, al igual que en el rango indicado por Peña (2017), quien obtuvo un PH entre 9,47 - 29,51 g de agua/g de almidón para almidones de cinco variedades de papas nativas del Perú.

Rodriguez Sandoval et al. (2012), mencionan que “el mayor IAA, ISA y PH del almidón de papa, se debe al alto contenido de grupos fosfato en la amilopectina, los cuales, generan una repulsión en las cadenas adyacentes, incrementando la hidratación por el debilitamiento de los enlaces dentro de la parte cristalina del gránulo” (p. 202). Así mismo, Martínez et al. (2015) y Hoover (2001), mencionan que al someter el almidón a calentamiento en exceso de agua, la estructura cristalina se altera debido a la rotura de enlaces de hidrógeno y la capacidad de absorción de agua aumenta por la presencia de grupos hidrofílicos que retienen agua. Por lo anterior, los almidones de las variedades de papa en estudio, muestran altos valores de IAA, ISA y PH comparado con el almidón de maíz, lo cual es consecuente con su mayor contenido de fósforo (Tabla 3).

También, según Mbougeng et al. (2012), “el incremento en la capacidad de absorción de agua podría deberse al tamaño del gránulo de almidón” (p. 324), por lo que posiblemente el IAA es mayor en las variedades de papa que en el de maíz, por su mayor tamaño del gránulo (Tabla 4).

Por otro lado, las diferencias en la solubilidad y el poder de hinchamiento del almidón puede deberse a la presencia de la amilosa y la fuerte tendencia a formar complejos con lípidos y otros componentes (Alcázar-Alay y Almeida, 2015, pp. 215-216). En ese sentido, es posible la presencia de complejos entre lípidos asociados a fracciones de amilosa, que impiden el hinchamiento granular (Salas Cuestas, 2018, pp. 23-26). Además, las combinaciones entre el contenido de proteína, lípidos y las características de los alfa glucanos dentro del almidón, determinan la capacidad de hinchamiento del almidón, principalmente durante la gelatinización, debido a que la concentración de lípidos mono acíclicos inducen la formación de un complejo amilosa-lípido-proteína el cual restringe el hinchamiento y la dispersión de los gránulos, disminuyendo la solubilidad de la amilosa lo que genera una baja viscosidad (Salas Cuestas, 2018; Villada Pinilla, 2010). Esta afirmación es coherente con los almidones analizados, ya que los almidones de papa, presentan mayor ISA y PH, en comparación con el almidón comercial de maíz, el cual tiene mayor contenido de grasa y proteína (Tabla 3), que pueden influenciar en el bajo ISA y PH del almidón de este cereal. También, Lin et al. (2013), mencionan que “la mayor solubilidad del almidón puede atribuirse a una mayor dilución y lixiviación de polímeros a partir de gránulos de almidón con rigidez más débil, cuando se calientan a alta temperatura” (p. 1555).

El PH y el ISA proporcionan evidencia de la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de los dominios amorfo y cristalino (Hoover, 2001, p. 258). Los almidones de las variedades de papa con mayor ISA y PH comparado con el maíz, dan una noción de la baja fuerza de asociación en los gránulos de almidón de papa, tal como lo afirma Aristizabal y Sánchez (2007), quienes concluyen que “la solubilidad y el poder de hinchamiento de los almidones de cereales es más limitado que el que presentan los almidones de tubérculos, debido a la presencia de lípidos” (p. 39), estando acorde al contenido de grasa obtenido en el análisis

bromatológico (Tabla 3), aunque también puede estar influenciado por factores como el contenido de amilopectina, el tamaño y la forma de los gránulos.

De acuerdo a las características de los almidones en estudio, estos pueden emplearse en productos que requieren la retención de agua, como los productos cárnicos, embutidos, jaleas, mermeladas, entre otros (Meaño et al., 2014, p.186).

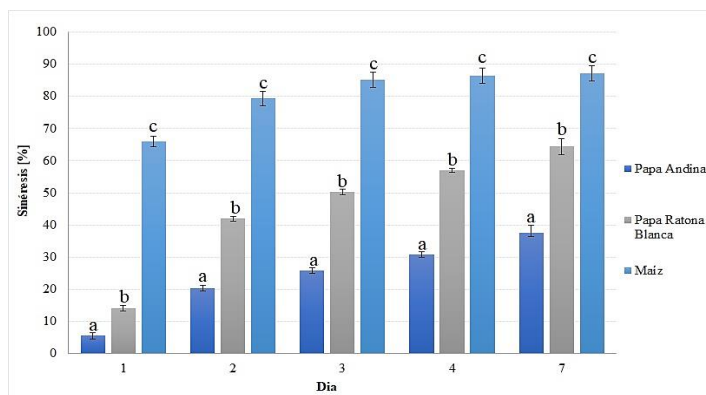
6.2.2 Estabilidad de Refrigeración y Congelación

La Figura 14 permite evidenciar los porcentajes de sinéresis en condiciones de refrigeración, los cuales mostraron una diferencia estadísticamente significativa ($p\text{-Valor} < 0,05$) entre las distintas variedades de almidón. Además, se puede observar que la sinéresis aumenta conforme el paso del tiempo. No obstante, la sinéresis de los almidones de papa Andina y Ratona blanca es menor en cada uno de los días estudiados con relación al almidón de maíz, alcanzando en el séptimo día una sinéresis de 37,49 y 64,35 %, respectivamente.

Los resultados obtenidos se encuentran por encima de los datos reportados por Gremaqui et al. (2015), los cuales están alrededor del 25% en el séptimo día a una temperatura de 4 °C, para almidón de papa nativa. Por otra parte, Solarte-Montufar et al. (2019), reporta para el séptimo día un porcentaje de sinéresis entre 34% y 39% para almidón de papa criolla, a una temperatura de 4 °C, los cuales tiene semejanza con los valores del almidón de papa Andina, caso contrario a lo que ocurre con el almidón de papa Ratona blanca , ya que los resultados se encuentran por encima de estos.

Figura 14

Sinéresis de almidón de papa y maíz en condiciones de refrigeración.

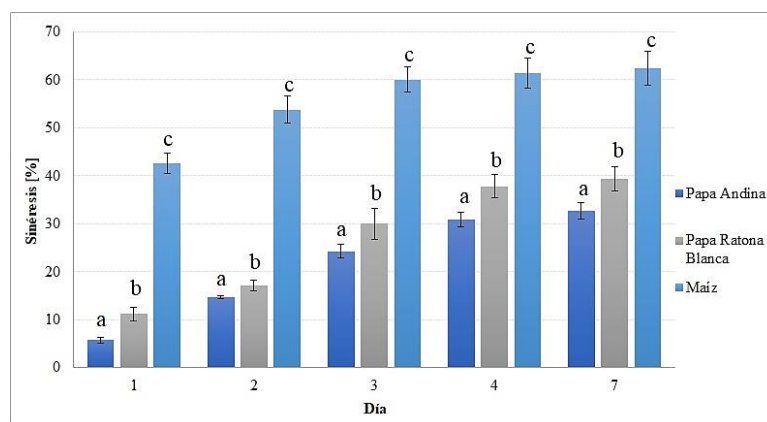


Nota. Los valores representan la media y la desviación estándar ($\pm$) 3 repeticiones. Las barras que no comparten la misma letra de índice, presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos (p-Valor < 0,05). Fuente: Esta investigación.

Bajo condiciones de congelación, en la Figura 15 se puede exhibir que los porcentajes de sinéresis muestran diferencias estadísticamente significativas (p-Valor < 0,05) entre las distintas variedades de almidón. En el séptimo día los almidones de la variedad Andina y Ratona blanca alcanzaron porcentajes de sinéresis de 32,63 y 39,40 % respectivamente, los cuales están por debajo del valor del almidón de maíz, que fue de 62,46%. Mercedes Lecca (2017), reportó valores similares, señalando en el cuarto día un porcentaje de sinéresis de 30,48% para el almidón de papa de la variedad Águila.

Figura 15

Sinéresis de almidón de papa y maíz en condiciones de congelación.



Nota. Los valores representan la media y la desviación estándar ($\pm$) 3 repeticiones. Las barras que no comparten la misma letra de índice, presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos (p -Valor $< 0,05$). Fuente: Esta investigación.

“La sinéresis está relacionada con la retrogradación, la cual hace referencia al comportamiento de recristalización de almidones gelatinizados durante el enfriamiento y el almacenamiento, proceso que lleva consigo, el endurecimiento y la filtración de agua del gel de almidón” (Solarte-Montufar et al., 2019, p. 38). La pérdida de agua durante el almacenamiento afecta las características de los productos y su vida útil, por lo que se consideran con mejor estabilidad a aquellos almidones que presentan menor pérdida de agua durante la refrigeración y la congelación (Ramirez Suarez et al., 2011, p. 71). “Este fenómeno está asociado en gran parte con la fracción de amilosa, adicionado a su alto peso molecular” (Solarte-Montufar et al., 2019, p. 40).

Altas concentraciones de amilosa implican formación de geles fuertes, opacos y elevada sinéresis, sin embargo, bajas concentraciones de amilosa generan dispersiones claras y viscosas y

no gelifican (Aristizábal y Sanchez., 2007; Solarte-Montufar et al., 2019), lo que pudo ser la razón para que el almidón de papa Ratona blanca tuviera un porcentaje de sinéresis mayor al de la papa Andina (Tabla 3).

Por otra parte, el almidón de maíz a pesar de tener menor amilosa, presentó mayor sinéresis. Se ha demostrado que “las proteínas y aminoácidos libres aumentan la retrogradación del almidón” (Wang, 2020, p. 101). Esto, pudo contribuir para que el almidón de maíz tuviera un alto porcentaje de sinéresis, ya que, como se observa en la Tabla 3, es el almidón con mayor contenido de proteínas.

Otro factor que está ligado al porcentaje de sinéresis es el poder de hinchamiento, el cual se correlaciona negativamente con la sinéresis, de acuerdo con los hallazgos reportados por Han y Hamaker (2001), es decir a menor poder de hinchamiento, mayor sinéresis, como se puede evidenciar al observar la Figura 13, donde, la variedad Andina obtuvo el mayor PH.

En los resultados se puede observar que en los primeros días, el aumento del porcentaje de sinéresis es alto, debido a que “la amilosa se retrograda mucho más rápido que la amilopectina, ocasionando que en los primeros ciclos haya mayor liberación de agua” (Diaz Barrera, 2015, p. 81). Comparando los resultados obtenidos durante el almacenamiento en refrigeración y congelación, se puede apreciar que el gel presenta mayor porcentaje de sinéresis durante la refrigeración, ya que estas condiciones pudieron favorecer el proceso de retrogradación de las moléculas del almidón (Mercedes Lecca, 2017, pp. 50-54).

De lo anterior podría inferirse que por el alto porcentaje de sinéresis que presentaron los geles en estudio, no se recomienda su aplicación como aditivo en productos que requieran una gran estabilidad en temperaturas de refrigeración, como lo son los derivados cárnicos y productos vegetarianos (Solarte-Montufar et al., 2019, p. 40). Sin embargo, podría ser empleado como agente espesante en la elaboración de helados o productos que requieran congelación (Martinez et

al., 2017, p. 27) . Además, la sinéresis tiene un efecto drástico en la textura de un producto, ya que al perderse humedad cambian las propiedades organolépticas y nutricionales, disminuyendo la calidad del mismo (Barreiro y Sandoval, 2006).

6.2.3 *Análisis de Variables Térmicas Mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y Análisis Termogravimétrico (TGA)*

En la Tabla 7 se muestran las propiedades térmicas de los almidones de las tres variedades analizadas, las cuales presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-Valor} < 0,05$) entre ellas. El proceso de gelatinización presentó un pico endotérmico, en el cual los almidones de papa presentaron una Temperatura inicial de gelatinización (T_0) menor a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, la Temperatura pico (T_p) donde se presenta la máxima absorción de energía, estuvo por debajo de los $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la Temperatura final de gelatinización (T_f) no supero los $72\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperaturas inferiores a las que presentó el almidón de maíz. Los almidones de papa presentaron un intervalo de gelatinización ($T_f - T_0$) mayor que el de maíz, razón por la cual, la entalpía de gelatinización (ΔH) fue mayor para los almidones de papa.

Mercedes Lecca (2017), reportó resultados similares para almidón de papas de las variedades Aguila y Shuita, obteniendo una T_0 de $59,09$ y $57,63\text{ }^{\circ}\text{C}$, una T_p de $62,61$ y $61,56\text{ }^{\circ}\text{C}$, una T_f de $68,31$ y $68,06\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una ΔH de $16,63$ y $18,32\text{ J/g}$ respectivamente. De igual manera Sigala Adame (2019), determinó una T_0 de $60,79\text{ }^{\circ}\text{C}$, una T_p de $64,49\text{ }^{\circ}\text{C}$, una T_f de $69,86\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una ΔH de $11,57\text{ J/g}$ para almidón de papa de variedades de la especie *Solanum tuberosum*.

Las diferencias en las propiedades térmicas pueden ser causadas por factores como la forma y tamaño del gránulo del almidón, la longitud de la cadena de amilopectina, contenido de fósforo y las regiones cristalinas de diversa estabilidad y/o tamaño (Singh et al., 2008 y Wischmann et al. 2005).

De acuerdo a la literatura el almidón de papa se caracteriza por tener una baja temperatura de gelatinización; en varios estudios esto es atribuido a su alto contenido de fósforo, que se encuentra representado principalmente como grupos de ésteres de fosfato (Espinoza Muñoz, 2012; Karim et al., 2007; Mutis Gonzales, 2019). Lo anterior se contrasta con el contenido de fósforo encontrado en el análisis bromatológico (Tabla 3), razón por la cual el almidón de la variedad Andina presenta la menor T_p , seguido del de la variedad Ratona blanca.

Por otra parte, en el almidón de cereales están presentes lípidos asociados a la amilosa (por la longitud de su cadena, el grado de insaturación y la naturaleza de su grupo hidrófilo) que retardan la gelatinización; “la presencia de los complejos amilosa-lípido, incrementan la temperatura de gelatinización ya que restringen la penetración de agua en los gránulos de almidón” (BeMiller, 2018, p. 221; Ji, 2020, p.556). Por esta razón, el almidón de maíz presentó una temperatura de gelatinización superior al de las variedades de papa, ya que este cereal obtuvo el mayor contenido de grasa como se evidencia en la Tabla 3.

Abera et al. (2019) y Espinoza Muñoz (2012), señalan que en almidones con mayor cristalinidad se han observado mayores valores de entalpía de gelatinización, lo cual concuerda con los resultados de cristalinidad de este estudio (Tabla 6), en este caso, las variedades de almidón de papa, obtuvieron mayor entalpía, requiriendo mayor cantidad de energía para alterar la estructura semicristalina de sus gránulos, en contraste con el almidón de maíz.

De acuerdo a Hernández-Medina et al. (2008), la gelatinización a temperaturas mayores a 70 °C, hace inclusión en productos que serán sometidos a altas temperaturas de procesamiento, como los productos enlatados (p. 722). Los almidones de las dos variedades de papa nativa estudiadas muestran temperaturas inferiores a 70 °C, considerándose almidones con baja

temperatura de gelatinización que se podrán usar en productos que no requieran temperaturas elevadas, tales como caramelos tipo chiclosos o natillas, pudines, entre otros.

Tabla 7

Propiedades térmicas de almidón de papa y maíz utilizando calorimetría diferencial de barrido.

Almidón	T₀ (°C)	T_p (°C)	T_f (°C)	ΔH (J/g)	T_f-T₀ (°C)
Papa Andina	56,3 ± 0,4 ^a	60,5 ± 0,3 ^a	68,9±0,3 ^a	19,7±0,2 ^a	12,6±0,1 ^a
Papa Ratona Blanca	57,4 ± 0,5 ^b	63,4±0,2 ^b	71,2±0,5 ^b	21,3±0,2 ^b	13,8±0,5 ^b
Maíz	70,5±0,2 ^c	74,6±0,4 ^c	79,1±0,4 ^c	10,1±0,5 ^c	6,6±0,5 ^c

Nota. Los valores representan la media y la desviación estándar (±) de 3 repeticiones. Los valores que no comparten la misma letra de índice, presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos (p-Valor < 0,05). Donde, T₀: Temperatura inicial, T_p: Temperatura de pico, T_f: Temperatura final, ΔH: Entalpia de gelatinización, T_f-T₀: Intervalo de gelatinización. Fuente: Esta investigación.

Los resultados obtenidos del TGA se muestran en la Tabla 8, en los cuales existieron diferencias estadísticamente significativas (p-Valor < 0,05) entre cada una de las variables termogravimétricas de los diferentes tipos de almidón. En estos resultados se observa que los almidones de papa en la primera etapa presentaron una pérdida de sus componentes a temperaturas superiores a las del almidón de maíz, caso contrario ocurrió en la segunda etapa, donde las temperaturas más altas de degradación correspondieron al almidón de maíz, obteniendo así, el menor contenido de residuos.

Tabla 8*Variables termogravimétricas de almidón de papa y maíz.*

	Componentes			Etapa 1			Etapa 2		
	Alta volatil idad (%)	media volatili dad (%)	Resid uo (%)	T° máx deg (°C)	T° inicio deg (°C)	T° fin deg (°C)	T° máx deg (°C)	T° inicio deg (°C)	T° fin deg (°C)
Papa	12,50	75,25	12,25	58,14	32,7 ±	107,4	320,7	258,2	370 ±
Andina	± 0,3 ^a	± 0,6 ^a	± 0,4 ^c	± 0,4 ^b	0,2 ^c	± 0,7 ^b	± 0,6 ^b	± 0,7 ^a	0,7 ^b
Papa	13,82	78,08	8,1 ±	68,9 ±	35,6 ±	120,3	317,2	261,5	356,7
Ratona	± 0,4 ^b	± 0,4 ^b	0,2 ^b	0,3 ^d	0,4 ^d	± 0,9 ^c	± 0,5 ^a	± 0,9 ^b	± 0,9 ^a
blanca									
Maíz	12,48	81,12	6,4 ±	50,54	31,1 ±	101,3	327,7	262,7	377,3
	± 0,5 ^a	± 0,3 ^c	9,2 ^a	± 0,5 ^a	0,5 ^b	± 0,8 ^a	± 0,8 ^c	± 0,7 ^c	± 0,6 ^d

Nota. Los valores representan la media y la desviación estándar (±) de 3 repeticiones. Los valores que no comparten la misma letra de índice, presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos ($p < 0.05$). Fuente: Esta investigación.

Temperaturas similares reportaron Lv et al. (2019), quienes obtuvieron dos etapas distintas de pérdida de peso para almidón nativo de papa, la primera a 60-100 °C y la principal etapa de pérdida de masa ocurrió 340-400 °C.

Los resultados encontrados muestran que la primera etapa, corresponde a “la pérdida de masa representada por la humedad presente en los almidones” (Montoya et al., 2014, p.1). “La

diferencia en la pérdida de masa en la segunda etapa, está relacionada en gran parte con el contenido de carbohidratos totales” (Carvajal et al., 2013, p. 29), razón por la cual, la variedad Andina fue la que tuvo menor pérdida de masa.

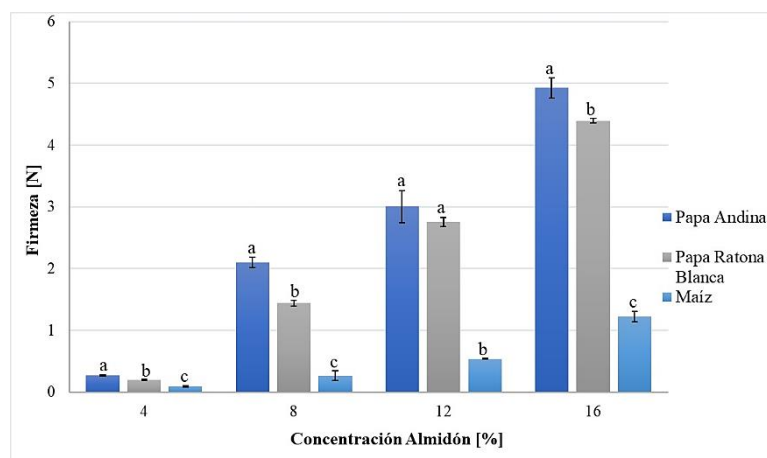
Mutis Gonzales (2019), en su estudio de modificaciones fisicoquímicas del almidón nativo de papa, obtuvo un residuo de 5,403 % y mencionó que al finalizar la segunda etapa, gradualmente se produce una lenta pérdida de masa hasta alcanzar temperaturas superiores a 600 °C. Dicho residuo es inferior a los encontrados para Andina (12,25 %) y Ratona blanca (8,1 %), la gran diferencia se debe a que en el presente estudio se alcanzó una temperatura aproximadamente de 370 °C, por lo que se deduce que los residuos obtenidos además de contener minerales, posiblemente contengan un porcentaje de proteínas, lípidos y otros compuestos de baja volatilidad (Arevalo Hernández, 2020, p. 6).

6.2.4 Pruebas Texturales

Como se observa en la Figura 16 la firmeza de los geles de almidón en estudio a diferentes concentraciones, presentó diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-Valor} < 0,05$) entre las variedades de papa y el maíz. Además, se pudo detallar que existe una relación directa entre la concentración de almidón de los geles formados y la firmeza de los mismos. Para las variedades de papa, los valores de firmeza variaron entre 0,2 y 4,93 N, mientras que para el maíz varió entre 0,09 y 1,23 N. El gel formado a partir de una suspensión de almidón del 16% de la variedad Andina fue el que obtuvo la mayor firmeza con 4,93 N.

Figura 16

Resultados de firmeza de almidón de papa y maíz.



Nota. Los valores representan la media y la desviación estándar ($\pm$) de 3 repeticiones. Las barras que no comparten la misma letra de índice, presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos (p -Valor $< 0,05$). Fuente: Esta investigación.

Los resultados obtenidos son congruentes a los reportados por Solarte Montufar et al. (2019) y Martínez et al. (2015), quienes indicaron valores similares de firmeza entre 0,11 y 5,62 N para almidones de papa nativa en concentraciones similares.

“Los altos valores de firmeza están relacionados con un mayor contenido de amilosa, puesto que se le ha atribuido a estas moléculas de cadena lineal la formación de estructuras más rígidas, debido a una mayor estabilidad con respecto a la amilopectina” (Taggart, 2004, p. 368). Sin embargo, a diferencia del contenido de amilosa, el contenido de lípidos se correlaciona negativamente con la dureza del gel; la cadena de hidrocarburos de un lípido interactúa con la fracción hidrófoba de la cadena de amilosa y llena la cavidad central de la hélice simple, dando lugar a la formación de complejos de amilosa-lípido que reducen la cantidad de amilosa disponible para la formación de redes del gel (BeMiller, 2018; Wang, 2020). Por esta razón, el

almidón de papa variedad Andina, seguida de la variedad Ratona blanca, al exhibir un menor contenido de grasa y mayor contenido de amilosa (Tabla 3), respectivamente, presentan geles más firmes. Caso contrario ocurre con el almidón de maíz, al tener un mayor contenido de contenido de grasa, presenta una estructura del gel más débil.

Según Eliasson (2004), el almidón de papa es bien conocido por proporcionar alta viscosidad, formar geles de buena consistencia, alta claridad y firmeza, propiedades ventajosas para ser utilizado como aditivo en pastelería, en alimentos como mermeladas, gelatinas, jaleas, algunos embutidos y en confitería en general (Meaño et al., 2014, p. 185).

Este tipo de almidón puede emplearse en la industria de los cosméticos como agentes encapsulantes de sabor, esencias y colorantes (Meaño et al., 2014, p. 186). Asimismo, la resistencia de los geles formados es un indicativo importante en la industria emergente de las biopelículas; la configuración lineal de los polímeros (alto contenido de amilosa) puede producir películas con propiedades flexibles, transparentes y resistentes al aceite, las cuales se pueden consumir junto con alimentos recubiertos y no contribuyen a la contaminación porque su degradación es más rápida que las películas sintéticas (Alcázar-Alay y Almeida, 2015, p. 229).

6.2.5 Perfil Amilográfico

En la Tabla 9 se reportan los valores obtenidos de las diferentes variables medidas, las cuales presentan diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-Valor} < 0,05$) entre los almidones de papa y el de maíz. Los almidones de papa Andina y Ratona blanca, alcanzaron temperaturas de empastamiento (TP) de 62,2 y 64 °C respectivamente, siendo menores a los 75 °C que presentó el almidón de maíz. Alvis et al. (2008) y Castillo (2017), reportaron valores cercanos entre 59 y 66 °C para almidón de papa nativa.

Como se puede observar en la Figura 17, en donde el punto más alto representa el pico de viscosidad (PV), la variedad Andina presenta el mayor punto registrado con 8714 cP, seguido de

la variedad Ratona blanca con 6148 cP, resultados similares a los reportados por Waterschoot et al. (2016), quienes señalaron un rango de PV entre 6964 y 8197 cP.

Para Huang et al. (2014) y Ma et al. (2020), el PV está influenciado por el contenido de amilosa, el tamaño granular, el contenido de fósforo y la ramificación de las amilopectina. De igual manera, Wickramasinghe et al. (2009) y Zaidul et al. (2007), destacan que sobre la viscosidad máxima predominan los efectos de las cadenas largas de amilopectina y el fosfato.

La amilopectina es la principal responsable de la viscosidad durante el hinchamiento granular, los enlaces de hidrógeno entre las cadenas de almidón se disocian y se reemplazan por enlaces de hidrógeno con moléculas de agua, lo que aumenta la viscosidad (Tester et al., 1995, pp. 551-557; Sathaporn y Jay, 2007, pp. 666-667). A pesar de ello, los valores más altos de PV del presente estudio, no concuerdan precisamente con el mayor contenido de amilopectina (Tabla 3). Lo anterior quizá se debe a que los almidones de tubérculos contienen pocos lípidos, desarrollan pastas claras con temperaturas de empastamiento más bajas y viscosidades máximas más altas, así, el mayor pico de viscosidad del almidón de papa se atribuye al gran hinchamiento granular debido a su cantidad de derivados de monoéster de fosfato (Jane et al., 1999; Noda et al., 2004). Por lo anterior, el almidón de la variedad Andina, seguido del almidón de Ratona blanca, presentan picos de viscosidad altos, consecuentes al contenido de fósforo encontrado en el análisis bromatológico (Tabla 3).

Por otro lado, los almidones de cereales desarrollan pastas opacas, altas temperaturas de empastamiento, pico de viscosidad más bajo y menor viscosidad de degradación; características que se le atribuyen a los complejos helicoidales formados entre los lípidos (fosfolípidos en mayor proporción) y las moléculas de amilosa o cadenas de ramificación largas de amilopectina, que refuerzan las interacciones entre las moléculas de amilosa y amilopectina enredadas, restringiendo significativamente la hinchazón del almidón (Tester et al., 1990; Jane et al., 1996;

Sathaporn y Jay, 2007). Por tanto, la muestra de almidón comercial de maíz estudiada presenta parámetros de viscosidad inferiores a los de las variedades de papa analizados.

Por otra parte, Liu et al. (2003), informaron que “el almidón con tamaños de gránulos más pequeños resultó con viscosidad más baja debido al bajo factor de hinchamiento” (p. 221), ya que los gránulos de almidón pequeño tienen una menor área superficial y un espacio interno reducido, impidiendo que los gránulos puedan hincharse libremente antes de romperse (Casarrubias et al., 2012; Robles, 2012). Lo anterior concuerda con los resultados de este estudio, ya que los almidones de papa que presentan mayor tamaño tuvieron PV más altos en comparación con el almidón de maíz comercial.

En relación con la estabilidad o viscosidad de ruptura (BV), el almidón de papa Andina presentó el valor más alto con 5572 cP, indicando que este almidón es más sensible a cizallamiento durante el calentamiento (Fengchao Zhou et al., 2016), lo cual se evidencia en la Figura 17, donde se produce un pico de viscosidad seguido por una caída bien definida (Lawal y Adebawale, 2005, pp. 338-339). Por otra parte, el almidón de Ratona blanca obtuvo una BV menor de 1491 cP, lo que indica la presencia de fuertes fuerzas cohesivas dentro de sus gránulos (Ma et al., 2020, p. 327-328).

Chan et al. (2010), señalaron que existe una relación entre la capacidad de hinchamiento y la BV, en la que cuanto más hinchados están los gránulos de almidón, más sensibles al cizallamiento se vuelven las pastas. Lo que se puede evidenciar en los resultados del presente estudio, donde el poder de hinchamiento de los almidones de papa (Figura 13) presenta una relación directa con los valores de BV.

En cuanto a la viscosidad de retroceso (SV), el almidón con mayor valor fue el de variedad Andina con 4784 cP, mientras que el almidón de Ratona blanca obtuvo una SV de 310 cP. La SV es una función de las moléculas de almidón durante el enfriamiento, que se ve afectada

por el contenido de amilosa y el alto grado de BV, generando un alto grado de colapso de los gránulos de almidón hinchados, liberando almidón solubilizado, capaz de reasociarse durante el enfriamiento (alto SV) (Chan et al., 2010; Tao et al., 2021). En los resultados obtenidos en este estudio, puede evidenciarse lo anterior, ya que el almidón de la variedad Andina mostró un mayor valor de BV, que aumentó significativamente la SV después del tratamiento.

La viscosidad final (VF) del periodo de enfriamiento (a 50 °C) fue de 3939 cP para el almidón de papa Andina, 5838 cP para el almidón de papa Ratona blanca y 1137 cP para el almidón de maíz. Liu et al. (2003), señalaron que durante el proceso de empastamiento un mayor contenido de amilosa podría ser uno de los varios factores que contribuyen a una alta VF, debido a la agregación de las moléculas de amilosa en el enfriamiento (Singh et al., 2010). Por tanto, los cambios coincidieron con el contenido de amilosa, siendo la variedad Ratona blanca la de mayor viscosidad final.

Después de calentar por encima de la temperatura de gelatinización, las suspensiones de almidón pueden desarrollar una viscosidad significativa, determinando su poder espesante para diversas aplicaciones. Como agentes espesantes, el almidón se ha utilizado en sopas, salsas y aderezos, el comportamiento de adelgazamiento por cizallamiento de la pasta de almidón también es de relevancia práctica para muchos productos alimenticios, como quesos procesados, yogures y alimentos producidos por extrusión, asimismo, como agente gelificante, el almidón se utiliza ampliamente en productos como mermeladas, jaleas y alimentos reestructurados y bajos en calorías (Wang, 2020, p. 126).

Tabla 9

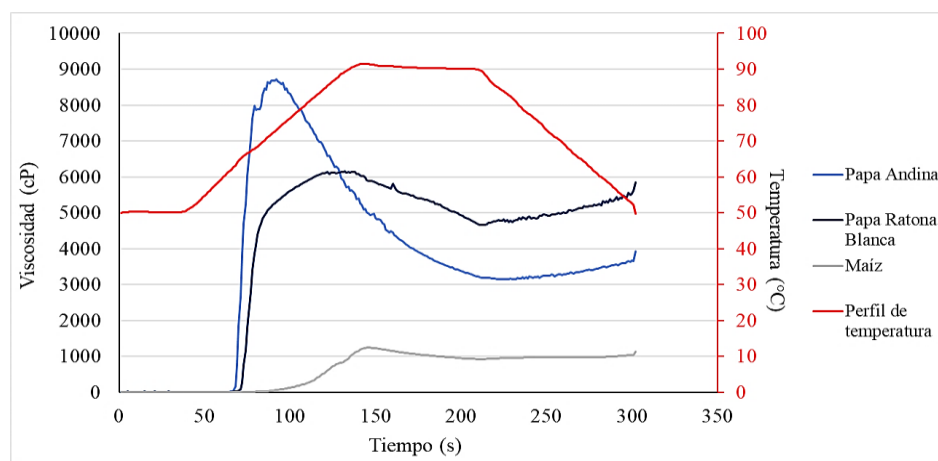
Perfil amilográfico de almidón de papa y maíz.

Muestra	Parámetro					
	PV	VM	VF	TP	BV	SV
	(cP)	(cP)	(cP)	(°C)	(cP)	(cP)
Andina	8714± 166 ^d	3142 ± 111 ^c	3930± 102 ^c	62,2± 0,1 ^a	5572± 175 ^d	4784± 92 ^d
Ratona blanca	6148 ± 153 ^c	4657 ± 104 ^d	5838± 127 ^d	64 ± 0,5 ^c	1491 ± 96 ^b	310± 21 ^b
Maíz	1241 ± 79 ^a	923 ± 49 ^a	1137 ± 80 ^a	75 ± 0,8 ^d	318 ± 38 ^a	104± 10 ^a

Nota. Los valores representan la media y la desviación estándar (±) de 3 repeticiones. Los valores que no comparten la misma letra, presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos (p-Valor < 0,05). Donde, PV: Pico de viscosidad, VM: Viscosidad mínima, VF: viscosidad final, TP: Temperatura de empastamiento, BV: Viscosidad de ruptura y SV: Viscosidad de retroceso. Fuente: Esta investigación.

Figura 17

Curva de empastamiento de almidón de papa y maíz.



Fuente: Esta investigación.

6.3 Propiedades Nutricionales

6.3.1 Análisis de Almidón Resistente (AR), Almidón de Digestión Rápida (ADR) y Almidón de Digestión Lenta (ADL)

En la Tabla 10 se observan los resultados de ADR, ADL y AR para almidones de papa y maíz, los cuales presentaron diferencias estadísticamente significativas (p -Valor $< 0,05$) en el porcentaje de almidón de digestión rápida (Figura 19) y almidón resistente (Figura 21). Sin embargo, el porcentaje de almidón de digestión lenta (Figura 20) de las dos variedades de papa no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí (p -Valor $> 0,05$).

El almidón de papa Andina y Ratona blanca obtuvieron un ADR inferior al del almidón de maíz, por el contrario, los valores de ADL Y AR para las variedades de papa fueron mayores al de maíz.

Tabla 10

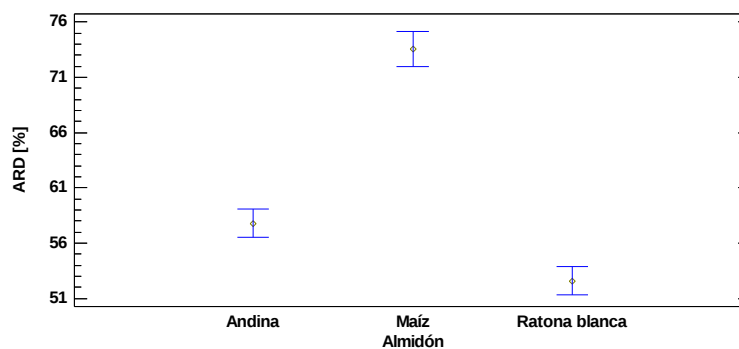
Análisis de almidón de digestión rápida (ADR), almidón de digestión lenta (ADL) y almidón resistente (AR) de almidón de papa y maíz.

Almidón	ADR (%)	ADL (%)	AR (%)
Andina	57,78 $\pm$ 0,28 ^a	11,95 $\pm$ 1,06 ^a	28,95 $\pm$ 0,70 ^a
Ratona Blanca	52,60 $\pm$ 1,37 ^b	12,70 $\pm$ 1,25 ^a	33,14 $\pm$ 0,80 ^b
Maíz	73,54 $\pm$ 1,87 ^c	7,54 $\pm$ 0,11 ^b	11,86 $\pm$ 0,73 ^c

Nota. Los valores representan la media y la desviación estándar ($\pm$) de 3 repeticiones. Los valores que no comparten la misma letra, presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos (p -Valor $< 0,05$). Fuente: Esta investigación.

Figura 18

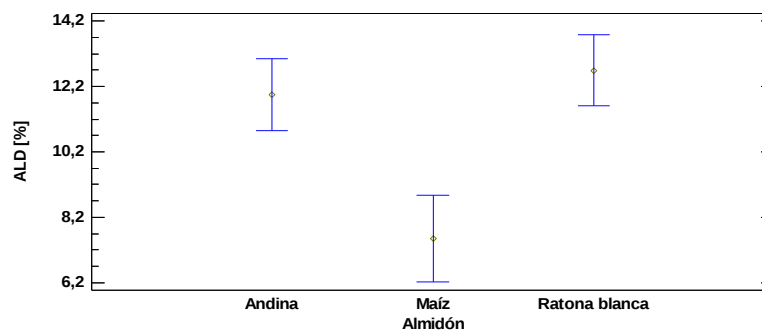
Gráfico de medias y LSD de Fisher al 95% de confiabilidad para ADR de almidón de papa y maíz.



Fuente: Esta investigación.

Figura 19

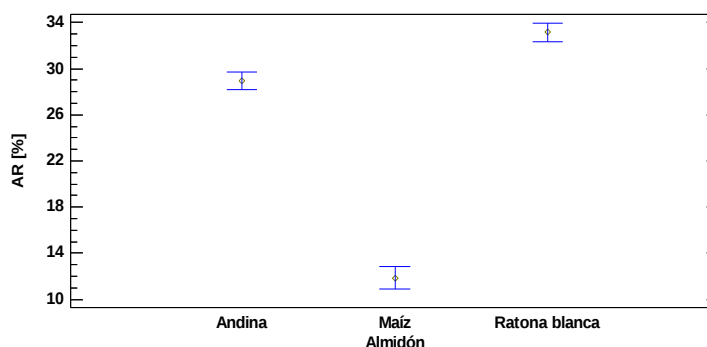
Gráfico de medias y LSD de Fisher al 95% de confiabilidad para ADL de almidón de papa y maíz.



Fuente: Esta investigación.

Figura 20

Gráfico de medias y LSD de Fisher al 95% de confiabilidad para AR de almidón de papa y maíz.



Fuente: Esta investigación.

Ma et al. (2020), reportaron resultados similares de ADR, ADL y AR para almidón de papa con valores de 61,3%, 9,10% y 29,6% respectivamente. De igual manera Van Hung et al. (2017), señalaron un ADR de 58,2%, un ADL de 19,3% y un AR de 22,5% para almidón de papa.

En la gelatinización los gránulos se hinchan, desintegrando la estructura cristalina granular de la célula, lo que ocasiona “la pérdida de su arreglo molecular, al mismo tiempo prepara a la célula para la hidrólisis enzimática y de esa manera degradar el almidón, haciendo que sea más fácil de asimilarlo por el organismo” (Paredes et al., 2013, p. 4).

En la digestibilidad del almidón influyen diferentes factores entre los que se encuentra la relación amilosa/amilopectina, longitud de estas cadenas, arreglo cristalino y tamaño de área superficial del granulo (Hoyos, 2015).

“Los gránulos de almidón de tubérculos tienen patrones de tipo B, los cuales tienen mayor resistencia a la digestión por α -amilasa que los almidones que tienen patrones tipo A como los cereales” (Martínez, 2006, p. 151), debido a la especificidad de la enzima, la afinidad de unión, la

estructura molecular y física (Williamson et al., 1992). Por lo anterior, se infiere que el almidón de maíz es más susceptible a la hidrólisis enzimática, obteniendo el porcentaje más alto de ADR, mientras que los almidones de papa obtuvieron valores más altos en ADL y AR.

Gránulos pequeños de almidón hacen que se presente una mayor superficie de contacto, lo cual facilita el ataque por las enzimas α -amilasa y amiloglucosidasa (Bello y Paredes, 2009; Espinosa Muñoz, 2012). Esta afirmación es consecuente con los resultados de tamaño de gránulo de los almidones en estudio (Tabla 4), por lo cual, el almidón de papa variedad Ratona blanca, seguido del de la variedad Andina, al tener gránulos de mayor tamaño tuvieron un grado de hidrólisis más baja en comparación con el almidón de maíz. El menor grado de digestibilidad de los almidones de papa está representado por sus altos valores de AR y ADL, y bajos porcentajes de ADR, en comparación al de maíz.

Otro factor que determina la digestibilidad del almidón es el contenido de amilosa, para Noda et al. (2008), un almidón con alto contenido de amilosa muestra una digestibilidad visiblemente menor por la amilasa, así mismo lo afirman Hu et al. (2004), atribuyendo mayor presencia de almidón resistente a un mayor contenido de amilosa. Lo anterior coincide con lo encontrado en el presente estudio, donde los almidones de Ratona blanca y Andina presentaron mayor contenido de AR, que puede estar relacionado a su mayor contenido de amilosa, sin embargo, este no es el único factor asociado a su digestibilidad.

La característica semicristalina del gránulo de almidón es un determinante importante de su digestibilidad, ya que las características de la digestión lenta del almidón se han relacionado con la distribución de la longitud de las cadenas de amilopectina, encontrando una relación directa entre la proporción de cadenas largas, como las que muestran generalmente los almidones de tubérculo, y el contenido de ADL (Bello-Paredes et al., 2018, pp. 15-17). La relación entre la longitud de la cadena de amilopectina y la digestibilidad del almidón puede explicarse porque las

cadenas de amilopectina más largas forman una doble hélice con una estructura cristalina compacta que resiste el acceso de las enzimas (Khatun et al., 2019). Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos (Tabla 6), evidenciando que los almidones con mayor cristalinidad presentaron un mayor contenido de ADL.

Por otra parte, “la acción de la amilasa se restringe mediante los grupos fosfato esterificados unidos a los residuos glucosilo del almidón, por tanto, la hidrólisis completa de almidones con grupos fosfato produce fosforil-oligosacáridos, generando una menor digestibilidad enzimática” (Noda et al., 2008, p.468). Además, Espinoza Muñoz (2012), afirma que almidones con alto contenido de fósforo, presentan un mayor contenido de almidón resistente. De acuerdo a los resultados obtenidos, el contenido de fósforo (Tabla 3) podría ser una causa del menor grado de digestión del almidón de las variedades de papa frente al de maíz.

El ADL y AR se correlacionan con un índice glucémico bajo, que es importante para el tratamiento y la prevención de enfermedades como la obesidad, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares. Además, “los posibles beneficios para la salud de los ADL están relacionados con el metabolismo estable de la glucosa, el control de la diabetes, el rendimiento mental y la saciedad” (Na et al., 2020, p. 8). Por lo tanto, el ADL ha atraído considerable la atención como un nuevo ingrediente alimentario funcional en un producto alimenticio innovador. El interés por el AR está relacionado con sus efectos en el tracto gastrointestinal, que en muchos sentidos son similares a los de la fibra dietética. Esto es importante desde una perspectiva nutricional porque, como ingrediente alimentario, el almidón de papa es menos susceptible a la digestión por hidrólisis enzimática (Martínez et al., 2019, p. 7). Por lo tanto, el almidón de variedad Andina y Ratona blanca, podrían utilizarse en aplicaciones de la industria alimentaria, como aditivo con potencial efecto prebiótico.

Conclusiones

De acuerdo a la evaluación fisicoquímica, los almidones de papa de la variedad Andina y Ratona blanca muestran propiedades semejantes, obteniendo un bajo porcentaje de proteína y grasa, así como un alto contenido de fósforo y amilosa, un gran tamaño del granulo y mayor cristalinidad en comparación con el almidón de maíz, debido a su origen botánico, influyendo en las propiedades funcionales y nutricionales de los almidones estudiados.

Los almidones de papa de las variedades analizadas exhibieron características funcionales similares, pero difirieron respecto al almidón de maíz comercial. Tanto el almidón de la variedad Andina como Ratona blanca presentaron valores más altos de IAA, ISA y PH, los cuales están relacionados con su mayor contenido de grupos fosfato, que, a su vez, pudo originar que el almidón de la variedad Andina alcanzara la mayor capacidad viscosante y una temperatura de gelatinización más baja. Además, el alto contenido de amilosa en el almidón de papa, pudo influir para que este almidón presentara geles firmes, mientras que un menor contenido de este componente generó mayor estabilidad en condiciones de refrigeración y congelación en el almidón de la variedad Andina con respecto al de Ratona blanca.

Factores como el mayor contenido de grupos fosfato, la cristalinidad tipo B, el mayor tamaño del granulo y contenido de amilosa, pueden estar relacionados con la digestibilidad del almidón de las dos variedades papa, representado en sus altos valores de ADL y AR en comparación con el almidón comercial de maíz.

De acuerdo a las características que presentan los almidones en estudio, estos pueden emplearse como agentes retenedores de agua y espesante en productos como jaleas, mermeladas, sopas, salsas, aderezos y helados. Como agente gelificante en caramelos tipo chiclosos o natillas, pudines, entre otros. Asimismo, se pueden utilizar como agentes encapsulantes de sabor, esencias y colorantes, y por la resistencia de sus geles podrían emplearse en la elaboración de biopelículas.

Recomendaciones

- Ensayar el comportamiento de los almidones obtenidos de las papas nativas en productos alimentarios y no alimentarios, para conocer las alteraciones de sus propiedades, al interactuar con otros componentes y en condiciones específicas de procesamiento.
- Difundir los resultados resaltando la importancia de la funcionalidad de los almidones estudiados, ya que estos podrían ayudar a otorgar un valor agregado a la producción de papa nativa.
- Realizar modificaciones (físicas, químicas y enzimáticas) en los almidones nativos, con el fin de conocer los posibles cambios y efectos que estos pudieran causar en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y nutricionales, y así determinar su aplicación.
- Realizar estudios de vida útil de los almidones de papa nativa para determinar su vida de anaquel.
- Evaluar la factibilidad económica de la extracción de almidón nativo proveniente de papas nativas.

Referencias

- Abdelmaguid, M., y Abozeid, M. (2015). Modification of Potato Starch by Some Different Physical Methods and Utilization in Cookies Production. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 4(10), 556–569. <http://www.ijcmas.com>
- Abera, G., Woldeyes, B., Dessalegn, H., y Miyake, G. (2019). Comparison of physicochemical properties of indigenous Ethiopian tuber crop (*Coccinia abyssinica*) starch with commercially available potato and wheat starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140, 43–48. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.08.118>
- Agama, E., Rodríguez, S., García, F., Gutiérrez, F., Pacheco, G., y Bello, L. (2013). Starch isolation and partial characterization of commercial cooking and dessert banana cultivars growing in Mexico. *Starch/Staerke*, 66(3–4), 337–344. <https://doi.org/10.1002/star.201300125>
- Agama-Acevedo, E., Ottenhof, M., Farhat, I., Paredes, O., Ortíz, J., y Bello, L. (2005). Aislamiento y Caracterización del Almidón de Maíces Pigmentados. *Agrociencia*, 419–429. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30239406.pdf>
- Alarcón, C., Hugo, A., y Arroyo, E. (2016). Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 82(3). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000300007
- Alcázar-Alay, S., y Almeida, M. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology*, 35(2), 22. <https://www.scielo.br/pdf/cta/v35n2/0101-2061-cta-35-2-215.pdf>

- Alvani, K., Qi, X., Tester, R., y Snape, C. (2011). Physico-chemical properties of potato starches. *Food Chemistry*, 125(3), 958–965.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2010.09.088>
- Alvarado, J., y Ramírez, M. (2016). Respuesta de la papa criolla (*Solanum phureja*) a diferentes aplicaciones de fertilización orgánico mineral en Bogotá, Cundinamarca. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
- Alvis, A., Vélez, C., Villada, H., y Rada, M. (2008). Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Información Tecnológica*, 19(1), 19–28.
- Ambigaipalan, P., Hoover, R., Donner, E., Liu, Q., Jaiswal, S., Chibbar, R., Nantanga, K. y Seetharaman, K. (2011). Structure of faba bean, black bean and pinto bean starches at different levels of granule organization and their physicochemical properties. *Food Research International*, 44(9), 2962–2974.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2011.07.006>
- Anderson, R., Conway, H., Pheiser, V., y Griffin, E. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14, 4–12.
- Arévalo Hernández, A. (2020). Validación del análisis termogravimétrico (TGA) como método alternativo para la determinación del porcentaje de humedad en la sal yodada y almidón de maíz. [Universidad de San Carlos de Guatemala].
[http://www.repositorio.usac.edu.gt/15328/1/Astrid Alejandra Arévalo Hernández.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/15328/1/Astrid%20Alejandra%20Ar%C3%A9valo%20Hern%C3%A1ndez.pdf)
- Arias, M. (2016). Obtención del almidón de la *Alocacia macrorrhiza* y cuantificación del oxalato de calcio. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7188/1/T-UCE-0017-0034-2016.pdf>

- Arias, V., y Bustos, P. (1996). Evaluación de parámetros de rendimiento y algunos aspectos fisiológicos en papa criolla (*Solanum phureja*) bajo diferentes densidades de siembra en la sabana de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia.
- Aristizabal, J., y Sánchez, T. (2007). Guía técnica para la producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO (p. 153).
<https://issuu.com/jaristizabal/docs/guiaproduccionyanalisisalmidondeyuca>
- Badui Dergal, S. (2006). Química de los alimentos. In Química de los alimentos (Cuarta edi).
- Barraza, G., y 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://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/3450/4125>
- Barreiro, J., y Sandoval, A. (2006). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas - Google Libros. Equinoccio, Universidad Simón Bolívar.
<https://books.google.com.co/books?id=r7y3XuFAB8UCypg=PA9ydq=sineresisyhl=es-419ysa=Xyved=2ahUKEwiw3uvdmaDzAhVeSjABHUEnc0QQ6AF6BAgDEAI#v=onepageyq=sineresisyf=false>
- Bejarano Cruz, S. (2017). Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y térmicas de almidón extraído de papa nativa (*Solanum tuberosum* L.), variedad “manzana”, cultivada en el distrito de Chugay, provincia de Sánchez Carrión, departamento de la Libertad.
- Bello, L., Flores, P., Agama, E., y Tovar, J. (2018). Starch digestibility: past, present, and future. *Revista de Ciencias de La Alimentación y La Agricultura*, 28.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.8955>

- Bello, L., y Paredes, O. (2009). Starches of Some Food Crops, Changes During Processing and Their Nutraceutical Potential. *Food Eng Rev*, 1, 50–65. <https://doi.org/10.1007/s12393-009-9004-6>
- BeMiller, J. (2018). Carbohydrate chemistry for food scientists. *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*, 1–427. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-01960-5>
- BeMiller, J., y Whistler, R. (2009). starch chemistry and tecnology (3rd ed.). <https://www.elsevier.com/books/starch/bemiller/978-0-12-746275-2>
- Bonilla, M., Cardozo, F., y Morales, A. (2009). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la papa en Colombia con énfasis en papa criolla.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). Manual papa. 13.
- Carvajal, E., Dumar, V., Castaño, Q., Carlos, J., y Aguirre, L. (2013). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto (*erytina edulis triana ex micheli*). Julio-diciembre, 18(2), 21–35.
- Casarrubias, M., Méndez, G., Rodríguez, S., Sánchez, M., y Bello, L. (2012). Diferencias estructurales y reológicas entre almidones de frutas y cereales. *Agrociencia*, 46, 455–466.
- Casas, N., y Pardo, D. (2005). Análisis de perfil de textura y propiedades de relajación de geles de mezclas de almidón de maíz ceros entrecruzado-gelana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4(1), 107–121.
- Castillo Santos, C. (2017). Caracterización reológica y fisicoquímica de pastas y geles obtenidos del almidón de tres variedades de papa nativa (*Solanum spp.*). Universidad Nacional del Antiplano.
- http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10072/Castillo_Santos_Cynthia_Yvory.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Centro Internacional de la Papa (CIP). (2017). Hechos y cifras sobre la papa.

<https://core.ac.uk/download/pdf/132696756.pdf>

Chan, H., Bhat, R., y Karim, A. (2010). Effects of sodium dodecyl sulphate and sonication treatment on physicochemical properties of starch. *Food Chemistry*, 120(3), 703–709.

<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2009.10.066>

Cisneros, F., Zevillanos, R., Figueroa, M., Gonzalez, G., y Cisneros, L. (2018). Characterization of Starch from Two Andean Potatoes: Ccompis (*Solanum tuberosum* spp. *andigena*) and Huayro (*Solanum x chaucha*). *Starch/Staerke*, 70(3–4).

<https://doi.org/10.1002/star.201700134>

Comisión Regional de la Competitividad de Nariño, Gobernación de Nariño, y Cámara de Comercio de Pasto. (2009). Plan Regional de Competitividad de Nariño 2010-2032 (Primera).

Cornejo, Y., Martínez, O., Del Toro, C., Wong, F., Borboa, J., y Cinco, F. (2018). The structural characteristics of starches and their functional properties. *CyTA-Journal of Food*, 16(1), 1003–1017. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1518343>

Cruz, G., Ribotta, P., Ferrero, C., y Iturriaga, L. (2016). Physicochemical and rheological characterization of Andean tuber starches: Potato (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigenum*), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and Papalisa (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Starch/Staerke*, 68(11–12), 1084–1094. <https://doi.org/10.1002/star.201600103>

Debet, M. R., y Gidley, M. J. (2006). Three classes of starch granule swelling: Influence of surface proteins and lipids. *Carbohydrate Polymers*, 64(3), 452–465.

<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2005.12.011>

- Della, D. (2007). Efecto del nivel de acetilación en las características morfológicas y moleculares del almidón de plátano (*Musa Paradisiaca L*). Instituto Politécnico Nacional.
https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4174/della_valle_deniseguerra.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Díaz, A., y Solarte, J. (2017). Caracterización de almidones provenientes de 3 genotipos de papa criolla (*Solanum phureja*) nativa cultivada en el departamento de Nariño. Universidad de Nariño.
- Díaz Barrera, Y. (2015). Determinación de las propiedades físicas, químicas, tecno funcionales y la estabilidad en congelación/descongelación del almidón de cuatro variedades de *Solanum tuberosum ssp. andigenum* (papa nativa). Universidad Nacional José María Arguedas. [https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/123456789/213/19-2015-EPIA-Diaz Barrera -Determinación de propiedades de variedades de papa nativa.pdf?sequence=1](https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/123456789/213/19-2015-EPIA-Diaz-Barrera-Determinación-de-propiedades-de-variedades-de-papa-nativa.pdf?sequence=1)
- Dome, K., Podgorbunskikh, E., Bychkov, A., y Lomovsky, O. (2020). Changes in the crystallinity degree of starch having different types of crystal structure after mechanical pretreatment. *Polymers*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/polym12030641>
- Dos Santos, T., Leonel, M., García, É., Do Carmo, E., y Franco, C. (2016). Crystallinity, thermal and pasting properties of starches from different potato cultivars grown in Brazil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 144–149.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.091>
- Dupuis, J., y Liu, Q. (2019). Potato Starch: a review of physicochemical, functional and nutritional properties. *American Journal of Potato Research*, 96(2), 127–138.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12230-018-09696-2>

- Eliasson, A. (2004). Starch in Food: Structure, Function and Applications. In Starch in Food: Structure, Function and Applications. *Elsevier Ltd*.
- Eliasson, A., y Ryang, H. (1992). Changes in rheological properties of hydroxypropyl potato starch paste during freeze-thaw treatments. *Journal of Texture Studies*, 23(3), 279–296.
- Englyst, K., Hudson, G., y Englyst, H. (2006). Starch Analysis in Food. In *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. John Wiley y Sons, Ltd.
<https://doi.org/10.1002/9780470027318.a1029>
- Espinosa, V. (2008). Estudios estructurales de almidón de fuentes no convencionales: mango (*Mangifera indica L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*).
- Espinosa Muñoz, V. (2012). Propiedades de digestión de almidones nativos y modificados de plátano y mango. Instituto politécnico nacional.
<https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/9140/1/Tesis Doctorado Vicente Espinosa Solis.pdf>
- Espinoza, M. (2019). Especies de papas en peligro de desaparecer en Colombia - Otras Ciudades - Colombia - EL TIEMPO.COM. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/especies-de-papas-en-peligro-de-desaparecer-en-colombia-387312>
- Espinoza, R. (2012). Relación entre el contenido de fósforo y algunas propiedades térmicas y reológicas en almidón de papa nativa de Chiloé. Universidad Austral de Chile.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/fae.77r/doc/fae.77r.pdf>
- FAO. (2018). FAOSTAT. Datos sobre alimentación y agricultura. Cultivos.
<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QI>

- Fedepapa, y FNFP. (2020). Nuestros héroes del campo no paran frente al covid-19. Revista Papa, 52. <https://docplayer.es/183396963-No-50-marzo-2020-nuestros-heroes-del-campo-no-paran-frente-al-covid-19.html>
- Flores, S. (2004). Obtención de almidón con tamaño de partícula reducido mediante pulverizado mezclado con alta energía. Instituto politécnico nacional. https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/10706/1/PTA_M_20040615_001.PDF
- Freschi, J., Doran, L., Malumba, P., y Blecker, C. (2014). Impact of freezing and thawing processes on wheat and potato starch gel syneresis. *Starch/Staerke*, 66(1–2), 209. <https://doi.org/10.1002/star.201200294>
- Garnica, A., Romero, A., Cerón, M., y Prieto, L. (2010). Características funcionales de almidones nativos extraídos de clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* l. subespecie *andigena*) para la industria de alimentos. *Revista Alimentos Hoy*, 19(21), 3–15.
- Goñi, I., García, L., Mañas, E., y Saura, F. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*, 56(4), 445–449. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00222-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00222-7)
- Gorosquera, E., Garcia, F., Huicochea, E., Núñez, M., González, R., y Bello, L. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55, 86–90.
- Granda, J., y Ramos, Y. (2009). Estudio de la resistencia a la tracción y deformación de bioplásticos obtenidos a partir de almidón de *Solanum tuberosum* a diferentes porcentajes de plastificante. 50–61.

- Greimasqui, I., Dominguez, N., Calliope, S., y Samman, N. (2015). Caracterización morfológica y funcional de almidones de diferentes variedades de papas Andinas. *AGRARIA*, 8.
https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/75379/CONICET_Digital_Nro.020a5f0a-e698-4794-a13f-655dcf92046e_B.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Han, X., y Hamaker, B. (2001). Amylopectin Fine Structure and Rice Starch Paste Breakdown. *Journal of Cereal Science*, 34(3), 279–284. <https://doi.org/10.1006/JCRS.2001.0374>
- Hanco, Y. (2021). Evaluación de las propiedades térmicas de almidones de seis variedades de papas nativas del departamento de Puno. Universidad Nacional de Juliaca.
http://repositorio.unaj.edu.pe/bitstream/handle/UNAJ/163/tesis_yimy_UNAJ_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hernández Medina, M, Torruco, J., Chel, L., y Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán , México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos., Campinas*, 28(3), 718–726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Hirslchler, R. (2012). Whiteness, Yellowness, and Browning in Food Colorimetry: A Critical Review. In J. Caivano y M. Buera (Eds.), *Color in food: Technological and psychophysical aspects* (p. 478). CRC press, Taylor y Francis group.
- Hizukuri, S., Kaneko, T., y Takeda, Y. (1983). Measurement of the chain length of amylopectin and its relevance to the origin of crystalline polymorphism of starch granules. *Biochimica et Biophysica Acta*, 188–191.
- Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers*, 45(3), 253–267.
[https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00260-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00260-5)

- Horianski, M. (2019). Digestibilidad in vitro y propiedades fisicoquímicas del almidón de mandioca modificado por la combinación de tratamientos hidrotérmicos y químicos.
- Hoyos, J. (2015). Efecto del tratamiento hidrotérmico del almidón de plátano: digestibilidad y características fisicoquímicas. Universidad Autónoma de Querétaro. <http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/975/1/RI002732.pdf>
- Hu, P., Zhao, H., Duan, Z., Linlin, Z., y Wu, D. (2004). Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. *Journal of Cereal Science*, 40(3), 231–237. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2004.06.001>
- Huang, J., Chen, Z., Xu, Y., Li, H., Liu, S., Yang, D., y Schols, H. (2014). Comparison of waxy and normal potato starch remaining granules after chemical surface gelatinization: Pasting behavior and surface morphology. *Carbohydrate Polymers*, 102(1), 1001–1007. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2013.07.086>
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2018). Tabla De Composición De Alimentos Colombianos (TCAC) 2018. In Icbf (pp. 1–147).
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2018). Industria alimentaria. Papa para Consumo. Especificaciones. (NTC 341).
- Jane, J., Chen, Y., Lee, L., McPherson, A., Wong, K., Radosavljevic, M., Kasemsuwan T. (1999). Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chem.* 76: 629-637.
- Jane, J., Kasemsuwan, T., Chen, J., Juliano, B. (1996). Phosphorus in rice and other starches. *Cereal Food World* 41: 827-832.

- Ji, Y. (2020). Effect of annealing on the functional properties of corn starch/corn oil/lysine blends. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144, 553–559.
<https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.12.122>
- Jiménez, E. (2016). Obtención y caracterización física y química del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad Guayape. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
<https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/865/BC-TES-4008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jiranuntakul, W., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Puncha-Arnon, S., y Uttapap, D. (2011). Microstructural and physicochemical properties of heat-moisture treated waxy and normal starches. *Journal of Food Engineering*, 104(2), 246–258.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.016>
- Kanarskii, A., Kanarskaya, Z., Yagofarov, D., Wasserman, L., Vasil'ev, V., Skryabin, K., y Kamionskaya, A. (2011). Study of structural and rheological properties of starch isolated from genetically modified potato. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 47(9), 827–828. <https://doi.org/10.1134/S000368381109002X>
- Karim, A., Toon, L., Lee, V., Ong, W., Fazilah, A., y Noda, T. (2007). Effects of phosphorus contents on the gelatinization and retrogradation of potato starch. *Journal of Food Science*, 72(2). <https://doi.org/10.1111/J.1750-3841.2006.00251.X>
- Kaur, A, Singh, N., Ezekiel, R., y Guraya, S. (2007). Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry*, 101(2), 643–651.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.054>

- Khatun, A., Waters, D., y Liu, L. (2019). A Review of Rice Starch Digestibility: Effect of Composition and Heat-Moisture Processing. *Starch - Stärke*, 71(9–10), 1900090.
<https://doi.org/10.1002/STAR.201900090>
- Kong, X., Zhu, P., Sui, Z., y Bao, J. (2015). Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinisation temperature combinations. *Food Chemistry*, 172, 433–440.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.09.085>
- Lawal, O., y Adebawale, K. (2005). Physicochemical characteristics and thermal properties of chemically modified jack bean (*Canavalia ensiformis*) starch. *Carbohydrate Polymers*, 60(3), 331–341. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2005.01.011>
- Leguía Hurtado, R. (2017). Evaluación de las propiedades funcionales, rendimiento de extracción y el color del almidón de cuatro variedades de papa nativa (*Solanun tuberosum* ssp. *andigenum*). universidad Nacional José María Arguedas].
https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/123456789/309/Rosa_Tesis_Bachiller_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Leiva, C., y Obando, R. (2014). Extracción de almidón a partir de variedades de papa cultivadas en Nicaragua. Universidad Nacional de Ingeniería.
<http://ribuni.uni.edu.ni/1472/1/40038.pdf>
- Lin, J., Kao, W., Tsai, Y., y Chang, Y. (2013). Effect of granular characteristics on pasting properties of starch blends. *Carbohydrate Polymers*, 98(2), 1553–1560.
<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2013.07.039>

- Liu, Q., Weber, E., Currie, V., y Yada, R. (2003). Physicochemical properties of starches during potato growth. *Carbohydrate Polymers*, 51(2), 213–221. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00138-8](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00138-8)
- Loyola L., Oyarce C., y Acuña C. (2010). Evaluación del contenido de almidón en papas (*Solanum tuberosum* cv. *Desirée*), producidas en forma orgánica y convencional, en la provincia de curicó, región del maule. *Idesia* (Arica), 28(2), 41–52. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292010000200005>
- Luque, O., Hanco, Y., Gallegos, J., Jilapa, R., y Hanco, C. (2021). Evaluación de las propiedades térmicas del almidón de seis variedades de papa nativa de la región Puno. *Ñawparisun - Revista de Investigación Científica*, 3(3), 8. <http://www.unaj.edu.pe/revista/index.php/vpin/article/view/188>
- Lv, Y., Zhang, L., Li, M., He, X., Hao, L., y Dai, Y. (2019). Physicochemical properties and digestibility of potato starch treated by ball milling with tea polyphenols. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129, 207–213. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.02.028>
- Ma, M., Liu, Y., Chen, X., Brennan, C., Xu, X., Sui, Z., y Corke, H. (2020). Thermal and pasting properties and digestibility of blends of potato and rice starches differing in amylose content. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 321–332. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.09.189>
- Manchola, B. (2012). Caracterización fisicoquímica y reológica de almidones nativos de cinco clones promisorios de papa criolla cosechados en el municipio de Granada. Universidad de la Salle.

Maniglia, B., y Tapia, D. (2016). Isolation and characterization of starch from babassu mesocarp.

Food Hydrocolloids, 55, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.001>

Manzanilla Rojas, L. (2018). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de

féculas de tres variedades de camote (*Ipomoea batata*) para aplicaciones alimentarias.

Universidad Técnica de Ambato.

https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28375/1/AL_680.pdf

Marín, J. (2016). Química del almidón.

https://www.academia.edu/21607198/Química_del_almidón

Márquez Sigwas, M. (2014). Cenizas y grasas. Universidad Nacional de San Agustín.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4188/IAmasibm024.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La cantidad de cenizas representa,de minerales en los alimentos,ytext=En estos productos el contenido,de adulteración%2C contaminación o fraude.>

Martens, B., Gerrits, W., Bruininx, E., y Schols, H. (2018). Amylopectin structure and crystallinity explains variation in digestion kinetics of starches across botanic sources in an in vitro pig model. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9(1), 1–13.

<https://doi.org/10.1186/s40104-018-0303-8>

Martínez, D. (2006). Implicaciones digestivas y metabólicas del consumo de almidón resistente en el cerdo. Universidad Autónoma de Barcelona.

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5673/dmp1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Martínez, J., Hernández, J., y Arias, A. (2017). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de arroz (*Oryza sativa L*) blanco e integral. *Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 25(41), 15–30.
- Martínez, P, Málaga, A., Betalleluz, I., Ibarz, A., y Velezmoro, C. (2015). Functional characterization on native starch of Peruvian native potatoes (*Solanum phureja*). *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 291–301. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.06>
- Martínez, P., Peña, F., Bello, L., Núñez, C., Yee, H., y Velezmoro, C. (2019). Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region. *Food Chemistry: X*, 2, 100030. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2019.100030>
- Mbougueng, P., Tenin, D., Scher, J., y Tchiégang, C. (2012). Influence of acetylation on physicochemical, functional and thermal properties of potato and cassava starches. *Journal of Food Engineering*, 108(2), 320–326. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2011.08.006>
- McCleary, B. (2018). Total dietary fiber (codex definition) in foods and food ingredients by a rapid enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: Collaborative study, first Action 2017.16. *Journal of AOAC International*, 102(1), 196–207. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0180>
- McCleary, B., DeVries, J., Rader, J., Cohen, G., Prosky, L., Mugford, D., Champ, M., y Okuma, K. (2012). Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber (CODEX definition) by enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 95(3), 824–844. https://doi.org/10.5740/jaoacint.CS2011_25

- McCleary, B., Sloane, N., y Draga, A. (2015). Determination of total dietary fibre and available carbohydrates: A rapid integrated procedure that simulates in vivo digestion. *Starch - Stärke*, 67(9–10), 860–883. <https://doi.org/10.1002/star.201500017>
- McPherson, A., y Jane, J. (1999). Comparison of waxy potato with other root and tuber starches. *Carbohydrate Polymers*, 40(1), 57–70. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(99\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(99)00039-9)
- Meaño, N., Ciarfella, A., y Dorta, A. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. SABER. Revista Multidisciplinaria Del Consejo de Investigación de La Universidad de Oriente, 26, 182–187. <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739467011.pdf>
- Medina, J., y Salas, J. (2007). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/pdf/10.16924/revinge.27.6>
- Medina, L., Mackenzie, J., y Bermúdez, A. (1990). Obtención de almidón bajo en proteínas a partir de maíz desgerminado. *Revista Colombiana de Química*, 19(2), 7–14. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/15325>
- Mejía, D., Trejo, D., Latorre, L., Chaves, D., Córdoba, L., y Valencia, L. (2017). Características Agroindustriales de 32 variedades de Papas Nativas de Nariño (Vol. 1).
- Mercedes Lecca, J. (2017). Propiedades fisicoquímicas y térmicas de Almidón extraído de papa nativa (*Solanum tuberosum* L.) variedades “águila” y “shuita”, cultivadas en el distrito de Chugay, Provincia de Sánchez Carrión, Departamento de La Libertad Universidad Nacional de Trujillo. <https://1library.co/document/7q0mnklz-propiedades-fisicoquimicas-extraido-tuberosum-variedades-cultivadas-provincia-departamento.html>

- Minagricultura. (2019). Estrategia de ordenamiento de la producción, cadena productiva de la papa y su industria. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Normatividad/Plan de Ordenamiento papa 2019-2023.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR. (2019). Cadena de la papa: Indicadores e instrumentos.
- Mishra, S., y Rai, T. (2006). Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids*, 557–566. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.01.001>
- Monteros, C., y Pallo, E. (2009). Conservación y revalorización de papas nativas con pequeños productores de la provincia Bolívar, Ecuador. *Revista Latinoamericana de La Papa*, 15(1), 78–86. <https://doi.org/10.37066/ralap.v15i1.159>
- Montoya, J., Giraldo, G., y Lucas, J. (2012). Determinación del índice de blancura en harina de trigo comercial. *Vitae*, 19(1), 415–416.
<https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914130.pdf>
- Montoya, J., Quintero, V., y Lucas, J. (2014). Evaluación fisicotermica y reológica de harina y almidón de plátano dominico Hartón (*Musa paradisiaca ABB*). *Revistas Unicordoba*, 17.
<https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/736/2176>
- Moreno, J., Cerón, M., y Valbuena, R. (2010). Papas nativas de Colombia.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/20636/44276_56624.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Morrison, W. (1981). Starch Lipids: A Reappraisal. *Starch - Stärke*, 33(12), 408–410.
<https://doi.org/10.1002/STAR.19810331203>

- Muñoz, L., Pedreschi, F., Leiva, A., y Aguilera, J. (2015). Loss of birefringence and swelling behavior in native starch granules: Microstructural and thermal properties. *Journal of Food Engineering*, 152, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.11.017>
- Mutis Gonzáles, N. (2019). Estudio de las modificaciones fisicoquímicas originadas por la inclusión de minerales en la matriz del almidón de papa y plátano. Universidad Nacional de Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76761/1053828112.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Na, J., Kim, H., Kim, Y., Lee, J., Park, H., Moon, T., y Lee, C. (2020). Structural characteristics of low-digestible sweet potato starch prepared by heat-moisture treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 151, 1049–1057.
<https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.10.146>
- Neeraj, Siddiqui, S., Dalal, N., Srivastva, A., y Pathera, A. (2021). Physicochemical, morphological, functional, and pasting properties of potato starch as a function of extraction methods. *Journal of Food Measurement and Characterization* 2021 15:3, 15(3), 2805–2820. <https://doi.org/10.1007/S11694-021-00862-5>
- Noda, T., Takigawa, S., Matsuura, C., Suzuki, T., Hashimoto, N., Kottarachchi, N., Yamauchi, H., y Zaidul, I. (2008). Factors affecting the digestibility of raw and gelatinized potato starches. *Food Chemistry*, 110(2), 465–470.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2008.02.027>
- Noda, T., Tsuda, S., Mori, M., Takigawa, S., Matsuura, C., Hashimoto, N., Yamauchi, H. (2004) Properties of starches from potato varieties grown in Hokkaido. *J. Appl. Glycosci.* 51 : 241-246

Norma ISO 6647: Determination de la teneur en amylose., 3 (1987).

Odeku, O. (2013). Potentials of tropical starches as pharmaceutical excipients: A review.

Starch/Staerke, 65(1–2), 89–106. <https://doi.org/10.1002/star.201200076>

Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2010). 18.

Olguín, G., Amador, M., Quintanar, A., Diaz, F., Sánchez, I., Castañeda, A., Avila, R., y Santos, E. (2015). Correlación de entalpías de gelatinización con los índices de absorción de agua y de solidos solubles en agua de sémolas, granillos y harinas de maíz nixtamalizado.

Revista Mexicana de Ingeniería Química, 14(2), 9.

<https://www.redalyc.org/pdf/620/62041194007.pdf>

Pallo, E. (2014). Evaluación de tres tecnologías para producción de papas nativas variedades (I- *Puca shungo* e I- *Yana shungo*) para uso industrial. Universidad técnica de ambato.

Palomino Mallma, R. (2018). Extracción, caracterización funcional y color del almidón de papa nativa de las variedades: Waka waqra, Alq'a wayruru, Phusi k'achun waqachi y Puka viruntus (*Solanum tuberosum ssp. andigenum*). Universidad Nacional José María Arguedas. Andahuaylas - Apurímac, Perú.

Pardo, C., Castañeda, J., y Ortiz, C. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. *Acta Agronomica*, 62(4), 289–295.

Paredes, C., Bustos, A., Debiec, M., Calisaya, J., Alvarado, J., y Peñarrieta, M. (2013).

Determinación de diferentes tipos de almidón en *Solanum tuberosum*, papa proveniente del altiplano de La Paz. *Revista Boliviana de Química*, 30(1), 5.

<https://www.redalyc.org/pdf/4263/426339679001.pdf>

Peña, C., y Restrepo, L. (2013). Phenolic Compounds and Carotenoids in Potatoes – Revision. *Actualización En Nutrición*, 25–32.

- Peña Carrasco, E. (2017). Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de Ilave (puno). Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Pinhero, R., W, R., Liu, Q., Sullivan, J., Tsao, R., Bizimungu, B., y Yada, R. (2016). Evaluation of nutritional profiles of starch and dry matter from early potato varieties and its estimated glycemic impact. *Food Chemistry*, 203, 356–366.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.040>
- Preiss, J. (2018). Plant starch synthesis. *In Starch in Food*. Woodhead Publishing, 3–95.
- Prieto, J., Trejo, C., Prieto, F., Méndez, M., Bello, L., y Román, A. (2010). Acetilación y caracterización del almidón de cebada. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 6(1), 32–43. <http://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/181/117>
- Qi, X., y Tester, R. (2016). Effect of native starch granule size on susceptibility to amylase hydrolysis. *Starch/Staerke*, 68(9–10), 807–810. <https://doi.org/10.1002/STAR.201500360>
- Quilca Burga, N. (2007). Caracterización física, morfológica, organoléptica, química y funcional de papas nativas para orientar sus usos futuros. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- Quiroga, C. (2009). Los almidones resistentes y la salud. *Investigación y Desarrollo*, 1(8), 130, 135. <https://doi.org/10.23881/idupbo.008.1-9i>
- Raatz, S., Idso, L., Johnson, L., Jackson, M., y Combs, G. (2016). Resistant starch analysis of commonly consumed potatoes: Content varies by cooking method and service temperature but not by variety. *Food Chemistry*, 208, 297–299.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.120>
- Ragel de la Torre, P. (2012). Identificación y caracterización de los elementos implicados en el inicio de la síntesis de almidón en plantas. Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis.

- <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/55115/2012ragelident.pdf;jsessionid=E9D58542A3157995C98CAD35D9B4C4B3?sequence=1>
- Ramírez Suárez, L., Otálora, N., y Zárata, L. (2011). Caracterización de almidón nativo extraído de clones promisorios de papa criolla (*Solanum phureja*) para su aplicación en un derivado cárnico. Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de Alimentos.
- Reddy, C., Pramila, S., y Haripriya, S. (2015). Pasting, textural and thermal properties of resistant starch prepared from potato (*Solanum tuberosum*) starch using pullulanase enzyme. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1594–1601.
<https://doi.org/10.1007/s13197-013-1151-3>
- Rendon, R., Bello, L., Osorio, P., Tovar, J., y Paredes, O. (2002). Effect of storage time on in vitro digestibility and resistant starch content of nixtamal, masa, and tortilla. *Cereal Chemistry*, 79(3), 340–344. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.3.340>
- Reyniers, S., Ooms, N., y Delcour, J. (2020). Transformations and functional role of starch during potato crisp making: A review. *Journal of Food Science*, 85(12), 4118–4129.
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.15508>.
- Robles, M. (2012). Relación entre algunas propiedades fisicoquímicas y térmicas de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé. Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/far666r/doc/far666r.pdf>
- Rocha, T., Carneiro, A., y Franco, C. (2010). Effect of enzymatic hydrolysis on some physicochemical properties of root and tuber granular starches. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 27(1).

- Rodríguez Aguilar, D. (2013). Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (*Solanum tuberosum*) y criolla (*Solanum phureja*) sobre la digestibilidad de nutrientes, energía metabolizable e integridad del tracto gastrointestinal de pollos de engorde. Universidad Nacional de Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/74948/780209.2013.pdf?sequence=1>
yisAllowed=y
- Rodríguez, D., y Ramírez, L. (2011). La agroindustria de la papa criolla en Colombia. Situación actual y retos para su desarrollo. *Gestion y Sociedad*, 4(2), 19.
- Rodriguez Sandoval, E., Lascano, A., y Sandoval, G. (2012). Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 15(1), 199–207. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/817/919>
- Rodríguez, L., Muñoz, E., Rius, C., y Palacios, J. (2018). Preparación y Caracterización de Micropartículas de Almidón de Papa con Acrilamida por Irradiación de Microondas. *Ciencia En Desarrollo*, 9(2), 12.
https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/view/7783/7267
- Romero, Á., y Garnica, A. (2009). Caracterización de clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* subespecie *andigenum*) por su potencial para la producción de almidones nativos. *Ciencia Unisalle*, 162.
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentosRetrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/33

- Salas Cuestas, S. (2018). Caracterización fisicoquímica y propiedades funcionales del almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) modificado por irradiación UV-C. Universidad del Tolima. [http://repository.ut.edu.co/bitstream/001/2488/1/T_0959_004 .pdf](http://repository.ut.edu.co/bitstream/001/2488/1/T_0959_004.pdf)
- Salazar, E. (2018). Almidón resistente en la nutrición de animales monogástricos I: concepto, clasificación y fuentes. *Nutrición Animal Tropical*, 12(2), 55–69.
<https://doi.org/10.15517/nat.v12i2.35493>
- Sandoval, A., Rodríguez, E., y Fernández, A. (2005). Application of analysis by differential scanning calorimetry (DSC) for the characterization of the modifications of the starch. 45–53.
- Sathaporn, S., y Jay, J. (2007). Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: a review. *Food Science Biotechnology*, 16(5), 663–674.
<https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200735822355808.pdf>
- Schmiele, M., Sampaio, U., y Pedrosa M. y Clerici, M. (2019). Basic Principles: Composition and Properties of Starch. *Starches for Food Application: Chemical, Technological and Health Properties*, 1–22. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809440-2.00001-0>
- Semeijn, C., y Buwalda, P. (2018). Potato Starch. In *Starch in Food: Structure, Function and Applications: Second Edition* (Second, pp. 353–372). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00009-3>
- Serrano, G., y Castro, L. (2020). Caracterización fisicoquímica de cinco (5) variedades de papa nativa de la región del Pantano de Arce (Subachoque, Cundinamarca) Elaborado por Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/33532/gserranob?sequence=3&isAllowed=y>

- Sigala Adame, B. (2019). Obtención de almidones de papa (*Solanum tuberosum*) pregelatinizados usando calentamiento óhmico [Universidad Autónoma de Querétaro]. [http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/1497/1/FQ-0044-Bettina Sigala Adame.pdf](http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/1497/1/FQ-0044-Bettina%20Sigala%20Adame.pdf)
- Singh, N., y Kaur, L. (2004). Morphological, thermal, rheological and retrogradation properties of potato starch fractions varying in granule size. *Journal of the Science of Food and Agriculture J Sci Food Agric*, 84, 1241–1252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1746>
- Singh, J., y Kaur, L. (2009). Advances in Potato Chemistry and Technology. In Advances in Potato Chemistry and Technology. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374349-7.X0001-3>
- Singh, J., McCarthy, O., Singh, H., y Moughan, P. (2008). Low temperature post-harvest storage of New Zealand Taewa (Maori potato): Effects on starch physico-chemical and functional characteristics. *Food Chemistry*, 106(2), 583–596. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2007.06.041>
- Singh, J., y Singh, N. (2001). Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars. *Food Chemistry*, 75, 67–77.
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N., y Gill, B. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81(2), 219–231. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8)
- Singh, N., Shevkani, K., Kaur, A., Thakur, S., Parmar, N., y Singh, A. (2014). Characteristics of starch obtained at different stages of purification during commercial wet milling of maize. *Starch - Stärke*, 66(7–8), 668–677. <https://doi.org/10.1002/STAR.201300261>

- Singh, S., Singh, N., Isono, N., y Noda, T. (2010). Relationship of Granule Size Distribution and Amylopectin Structure with Pasting, Thermal, and Retrogradation Properties in Wheat Starch. *J. Agric. Food Chem*, 58, 1180–1188. <https://doi.org/10.1021/jf902753f>
- Solarte-Montufar, J., Díaz, A., Osorio, O., y Mejía, D. (2019). Propiedades reológicas y funcionales del almidón procedente de tres variedades de papa criolla. *Información Tecnológica*, 30(6), 35–44. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>
- Soto, R., y Yantas, P. (2012). Evaluación de la calidad del almidón obtenido de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) cultivadas en la provincia de Jauja. Universidad Nacional del Centro del Perú. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1965/Soto Izarra - Yantas Huaynate.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1965/Soto%20Izarra%20-%20Yantas%20Huaynate.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Swinkels, J. (1985). Composition and Properties of Commercial Native Starches. *Starch - Stärke*, 37(1), 1–5. <https://doi.org/10.1002/STAR.19850370102>
- Taggart, P. (2004). Starch as an ingredient: manufacture and applications. In *Starch in Food*. Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781855739093.3.363>
- Tao, H., Lu, F., Zhu, X., Xu, G., Xie, H., Xu, X. y Wang, H. (2021). Removing surface proteins promote the retrogradation of wheat starch. *Food Hydrocolloids*, 113, 106437. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2020.106437>
- Tester, R. y Morrison, W. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chem.* 67: 551-557.
- Tinjacá, S. y Rodríguez, L. (2015). Catálogo de papas nativas de Nariño, Colombia.

- Tofiño, A., Fregene, M., Ceballos, H. y Cabal, D. (2006). Regulación de la biosíntesis del almidón en plantas terrestres: perspectivas de modificación. *Acta Agronómica*, 55(1), 1–13. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/190/453
- Tovar, T. (2008). Caracterización Morfológica Y Térmica Del Almidón De Maíz (*zea mays L*) obtenido por diferentes métodos de aislamiento. In 2008. Universidad autónoma del estado de hidalgo.
- Tupa, M. (2019). Modificación organocatalítica de almidón para la obtención sostenible de derivados de alto valor agregado. Universidad de Buenos Aires.
https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/81107/CONICET_Digital_Nro.c9f6a8d7-e72b-43a7-8fe9-aa27a87b20c7_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Utrilla Coello, R. (2007). Caracterización fisicoquímica, morfológica y bioquímica de los gránulos de almidón de maíz azul. Instituto Politécnico Nacional.
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7629/16.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Van, P., Huong, N., Phi, N., y Tien, N. (2017). Physicochemical characteristics and in vitro digestibility of potato and cassava starches under organic acid and heat-moisture treatments. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95, 299–305.
<https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2016.11.074>
- Vargas, G., Martínez, P., y Velezmoro, C. (2016). Functional properties of potato (*Solanum tuberosum*) starch and its chemical modification by acetylation. *Scientia Agropecuaria*, 7(3), 223–230. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.09>
- Verma, R., Jan, S., Rani, S., Jan, K., Swer, T., Prakash, K., Dar, M., y Bashir, K. (2018). Physicochemical and functional properties of gamma irradiated buckwheat and potato

- starch. *Radiation Physics and Chemistry*, 144, 37–42.
- <https://doi.org/10.1016/J.RADPHYSICHEM.2017.11.009>
- Villacrés, E., Quilca, N., Reinoso, I., Monteros, C. y Muñoz, R. (2011). Valorización nutricional y funcional de las papas nativas. *Memorias-Cuarto Congreso Ecuatoriano de La Papa*, 4(1), 33–35.
- Villada Pinilla, W. (2010). Determinación experimental de las condiciones de operación para el proceso de hidrólisis enzimática del almidón de yuca nativa de la región amazónica en la ciudad de Leticia. Universidad Nacional de Colombia.
- <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7496/293752.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., y Torres, J. (2018). Resistant starch: Technological characteristics and physiological interests. *Rev Chil Nutr*, 45(3), 271.
- <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182018000400271> Artículo
- Wang, S. (2020). *Starch Structure, Functionality and Application in Foods*. Springer.
- <https://doi.org/10.1007/978-981-15-0622-2>
- Waterschoot, J., Gomand, S, y Delcour, J. (2016). Impact of swelling power and granule size on pasting of blends of potato, waxy rice and maize starches. *Food Hydrocolloids*, 52, 69–77. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2015.06.012>
- Wickramasinghe, H., Blennow, A., y Noda, T. (2009). Physico-chemical and degradative properties of in-planta re-structured potato starch. *Carbohydrate Polymers*, 77(1), 118–124. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2008.12.013>

- Wilhelm, P. (2016). Comparación de la Cinética de Gelatinización de Almidón de Papa Mediante: DSC y Microscopía de Luz Polarizada.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2016/faw678c/doc/faw678c.pdf>
- Williamson, G., Belshaw, N., Self, D., Noel, T., Ring, S., Cairns, P., Morris, V., Clark, S., y Parker, M. (1992). Hydrolysis of A-and B-type crystalline polymorphs of starch by α -amylase, β -amylase and glucoamylase 1. *Carbohydrate Polymers*, 18, 179–187.
- Wischmann, B., Blennow, A., Madsen, F., Jørgensen, K., Poulsen, P., y Bandholm, O. (2005). Functional characterisation of potato starch modified by specific in planta alteration of the amylopectin branching and phosphate substitution. *Food Hydrocolloids*, 19(6), 1016–1024. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2005.01.002>
- Xu, Y., Grizzard, C., Sismour, E., Bhardwaj, H., y Li, Z. (2013). Resistant starch content, molecular structure and physicochemical properties of starches in Virginia-grown corn, potato and mungbean. *Journal of Cereals and Oil Seeds*, 4(1), 10–18.
<https://doi.org/10.5897/JCO2012.0097>
- Yepes, B., Cerón, M., Cadena, M., y Castro, E. (2020). Agrosavia Alhaja Variedad de papa criolla (*Solanum tuberosum* L. grupo *Phureja*) para el departamento de Nariño, Colombia. In Colección de Transformación del Agro (p. 36). *Agrosavia*.
<http://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/163/140/1111-1>
- Yepes, L., Villareal, H., y Sánchez, G. (2016). Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano - PECTIA (2017-2027). Anexo 5: Cadena agroalimentaria de la PAPA (pp. 1–35). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

- Yuan, R., Thompson, D., y Boyer, C. (1993). Fine Structure of Amylopectin in Relation to Gelatinization and Retrogradation Behavior of Maize Starches from Three wx-Containing Genotypes in Two Inbred Lines. *Cereal Chem.*, 70(1), 81–89.
https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1993/Documents/70_81.pdf
- Zaidul, I., Yamauchi, H., Takigawa, S., Matsuura, C., Suzuki, T., y Noda, T. (2007). Correlation between the compositional and pasting properties of various potato starches. *Food Chemistry*, 105(1), 164–172. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2007.03.061>
- Zárate-Polanco, L., Ramirez, L., Otalora, N., Prieto, L., Garnica, A., Ceron, M. y Argüelles, J. (2014). Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, Grupo *Phureja*). *Revista Latinoamericana de La Papa*, 18(1), 1–24. <https://doi.org/10.37066/ralap.v18i1.206>
- Zhou, F., Liu, Q., Zhang, H., Chen, Q., y Kong, B. (2016). Potato starch oxidation induced by sodium hypochlorite and its effect on functional properties and digestibility. *International Journal of Biological Macromolecules*, 84, 410–417.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.12.050>