

**CARACTERIZACIÓN DE ALMIDONES PROVENIENTES DE 3 GENOTIPOS DE
PAPA CRIOLLA (*Solanum phureja*) NATIVA CULTIVADA EN EL DEPARTAMENTO
DE NARIÑO.**

ANDERSON DÍAZ MURANGAL

JUAN GUILLERMO SOLARTE

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

2017

**CARACTERIZACIÓN DE ALMIDONES PROVENIENTES DE 3 GENOTIPOS DE
PAPA CRIOLLA (*Solanum phureja*) NATIVA CULTIVADA EN EL DEPARTAMENTO
DE NARIÑO.**

ANDERSON DÍAZ MURANGAL

JUAN GUILLERMO SOLARTE

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

Asesor:

MSc. DIEGO FERNANDO MEJÍA ESPAÑA

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

2017

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 por el Honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

MSc. Andrés Felipe Cerón Cárdenas

Jurado.

PhD. Oswaldo Osorio Mora.

Jurado

MSc. Diego Fernando Mejía España

Asesor

San Juan de Pasto, 15 de Mayo de 2017.

Dedicatoria

“Nuestros éxitos y nuestros fracasos son inescindibles entre sí, igual que la materia y la energía.

Si se los separa, el hombre muere”

Nikola Tesla

A Dios, quien es destino y azar, principio y fin y la fuerza motora de todo el universo. A mis papas, quienes con su apoyo incondicional han estado presentes en cada momento de mi vida, compartiendo alegrías y ayudándome en situaciones difíciles para aprender de mis errores y encontrar siempre mi norte. Sin duda mis éxitos son los suyos. Finalmente a toda mi bonita familia, amigos, profesores y a todos aquellos quienes hicieron de mi paso por el alma mater una de las etapas más felices y memorables de mi vida.

Juan Guillermo Solarte Montufar

A mis abuelos maternos, de quienes he recibido el ejemplo y la sabiduría para luchar por mis sueños, a Dios por permitirme un día más de vida para poder alcanzar mis metas, a mis familiares quienes fueron mi motor para emprender el viaje hacia el rumbo del conocimiento, a mis amigos, maestros y a todos aquellos que me han ofrecido siempre su apoyo desinteresado.

Anderson Díaz Murangal

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos por su apoyo, colaboración y asesoría a:

MSc. Andrés Felipe Cerón Cárdenas: Investigador del Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario-GAIDA de la Universidad de Nariño.

PhD. Oswaldo Osorio Mora: Docente tiempo completo e Investigador de la Universidad de Nariño.

Luis Fernando Valencia: Químico, encargado del Laboratorio de Conservación y Calidad de Alimentos de la Universidad de Nariño.

MSc. Veronica Jarrin de encargada de la Planta Piloto de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño.

I.A Amparo Margoth Guevara Melo: Técnico Planta Piloto de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño.

I.A Laura Inés Latorre Vásquez: Investigador del Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario-GAIDA de la Universidad de Nariño.

Evelyn Melissa Alegría Vivas: Químico, encargado de Laboratorio de Reología y Empaques de la Universidad del Cauca.

PhD. Jairo Salcedo Mendoza: Profesor Titular de la Universidad de Sucre.

Resumen

El departamento de Nariño se destaca en la producción y comercialización de papa debido a que presenta condiciones agroecológicas favorables para su cultivo. Nariño cuenta con un importante número de variedades nativas de papa del grupo *phureja*, sin embargo su estudio ha sido bastante escaso y como consecuencia su procesamiento a nivel industrial no ha sido aún explotado, perdiendo así una importante oportunidad de generación de valor agregado y mejoramiento de su cadena productiva.

El objetivo de este trabajo fué caracterizar los almidones provenientes de 3 genotipos de papa criolla (*Solanum phureja*) nativa cultivada en el departamento de Nariño, con el fin de sentar las bases para un futuro aprovechamiento industrial de las mismas. Dentro de las propiedades fisicoquímicas se determinaron: contenido de humedad, granulometría (porcentaje de retenidos, pasantes y ajuste del modelo de Rosin Rammler (R-R)), índice de color (IC), densidad aparente, acidez titulable, pH y contenido de amilosa. Por su parte, las propiedades funcionales que se determinaron fueron: índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), poder de hinchamiento (PH), sinéresis, Análisis del perfil amilográfico (temperatura de viscosidad máxima, temperatura de gelatinización (Tg), viscosidad máxima de la muestra, y periodos de rompimiento y recuperación de la viscosidad), fuerza máxima de fractura (Dureza), y mediante DSC (Calorimetría Diferencial de Barrido) se determinó la temperatura inicial de gelatinización (To), la temperatura de gelatinización (Tp), la temperatura final de gelatinización o de Fusión (Tc) y entalpia de gelatinización (ΔH_{gel}). El análisis de datos se realizó con el programa Statgraphics © Plus Centurión XV.II, mediante Anova.

El almidón de las tres variedades presentó un contenido de humedad superior del 10% y mayor porcentaje de retenidos en el tamiz número 325. El mayor porcentaje de amilosa y mas alta temperatura de gelatinización (Tg) fue para la variedades Jardinera con 26.266 % y 66.30 °C

respectivamente. Los valores del IAA se situaron entre 5.20 a 9.28 g gel/g muestra, con índices menores a 60 °C. El ISA en el almidón de las tres variedades osciló entre 0.86 a 3.92 g soluble/ g con los mayores valores a 90 °C, y el PH de los tres almidones vario entre 5.24% y 9.45 %. La variedad Latina presentó el menor porcentaje de sinéresis, con una perdida de peso del 34.1 %, así como la viscosidad máxima (Vm) más alta con 7202 cP. La variedad Jardinera registró la temperatura de viscosidad máxima y dureza de gel (12 % P/V) más elevadas con valores de 89.4 °C y 4.5 N respectivamente. El análisis de varianza mostro diferencias estadísticamente significativas (p-valor<0.05) entre las siguientes propiedades de los tres almidones evaluados: contenido de amilosa, IAA, ISA, PH, sinéresis, dureza de gel, Tg, Vm y su respectiva temperatura. Se concluyó que los almidones evaluados presentan buena calidad y propiedades adecuadas, sugiriendo un prometedor uso en la industria, principalmente en el campo alimentario.

Palabras clave: *Solanum phureja*, papa, almidón nativo, fisicoquímica, funcional

Abstract

The department of Nariño stands out in the production and commercialization of potato (*Solanum tuberosum*) and (*Solanum tuberosum* group *phureja*) for having favorable agro-ecological conditions for its cultivation. Nariño has an important number of native potato varieties of the group *phureja*, however its study has been quite scarce and as a consequence of its processing industrial level has not yet been exploited, thus losing an important opportunity of value added generation and improvement of this productive chain.

The main objective of this work was to characterize starches from three (3) genotypes of native potato (*Solanum phureja*) grown in the department of Nariño, in order to lay the groundwork for a future industrial use of them. Among the physicochemical properties were evaluated: moisture content, grain size (percentage of retentate and Rosin Rammler (R-R) model), color index (CI), apparent density, titratable acidity, pH and amylose content. On the other hand, the functional properties that were determined: water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), swelling power (SP), syneresis, amylographic profile analysis (maximum viscosity temperature, gelatinization temperature (T_g), maximum sample viscosity, and breakage and viscosity recovery periods), maximum fracture strength (Hardness). By differential scanning calorimetry (DSC) were calculated the onset gelatinization temperature (T_o), gelatinization temperature or glass transition temperature (T_p), close temperature or fusion temperature (T_c) and gelatinization enthalpy (ΔH_{gel}). The data analysis was performed with the program Statgraphics © Plus Centurion XV.II, using Anova.

The moisture content of the three starches was below 10 % and the highest percentage of retained for starch was found in sieve number 325. The percentages of amylose and the gelatinization temperature (T_g) for the variety Jardinera, were the highest with 26.266 % and 66.30 °C respectively. The WAI values were in the range of 5.20 to 9.28 g gel / g sample, with

indices significantly lower at 60 ° C, lower temperature evaluated. The WSI in the starch of the three varieties ranged from 0.86 to 3.92 g soluble / g sample with the highest values at 90 °C, and the SP of the three starches varied between 5.24 % and 9.45 %. The Latina variety showed the lowest percentage of syneresis after 7 days of refrigeration, with 34.1 %, as well as the highest maximum viscosity (MV) with 7202 cP. The Jardinera variety was recorded the highest MV temperature and gel hardness (12 % W/V) with values of 89.4 °C and 4.5 N respectively. The analysis of variance showed statistically significant differences (p-value <0.05) among the following starch properties of the three evaluated varieties: amylose content, WAI, WSI, SP, syneresis (In the initial days), gel hardness, Tg, MV and its respective temperature. It was concluded that starches from these three native potato varieties present good quality and good rheological and functional properties, proving their potential as additives for the industry, mainly in the food field.

Key words: potato, *Solanum phureja*, native starch, physicochemical, functional.

Contenido

	Pag.
Introducción	21
1. Planteamiento del problema, pregunta de investigación y justificación en términos de necesidad y pertinencia	23
2. Objetivos	25
2.1 Objetivo general	25
2.2 Objetivos específicos	25
3. Marco Teórico	26
3.1 Generalidades de la papa criolla	26
3.1.1 Desarrollo agroindustrial de la papa criolla (<i>Solanum phureja</i>) en Colombia.	29
3.2 Almidón.....	33
3.2.1 Fuentes botánicas del almidón.....	37
3.2.2 Aplicaciones industriales del almidón.....	39
3.2.3 Proceso de extracción de almidón de papa.....	39
3.2.4 Propiedades fisicoquímicas del almidón.	39
3.2.5 Propiedades funcionales del almidón.	42
3.3 Estado de desarrollo e innovación.....	49
4. Metodología.	54
4.1 Localización	54
4.2 Material experimental.	54
4.3 Determinación de los genotipos de papa criolla (<i>solanum phureja</i>) nativa para la caracterización del almidón, teniendo en cuenta como criterio de selección su rendimiento.	54

4.3.1 Extracción del almidón nativo.....	54
4.3.2 Diseño experimental.....	58
4.4 Determinación las propiedades fisicoquímicas de los almidones.....	58
4.4.1 Contenido de humedad.....	58
4.4.2 Granulometría.....	59
4.4.3 Índice de Color.....	62
4.4.4 Densidad aparente.....	63
4.4.5 Acidez titulable y pH.....	63
4.4.6 Contenido de amilosa.....	64
4.4.7 Diseño experimental.....	64
4.5 Determinación de propiedades funcionales de los almidones.....	65
4.5.1 Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA) y Poder de hinchamiento (PH).....	65
4.5.2 Sinéresis.....	68
4.5.3 Análisis de perfil amilográfico.....	68
4.5.4 Fuerza máxima de fractura de gel formado (Dureza).....	69
4.5.5 Análisis de variables térmicas mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	70
4.5.6 Diseño experimental.....	71
4.6 Análisis estadístico.....	72
5. Resultados.....	73
5.1 Rendimiento de almidón.....	73
5.2 Caracterización fisicoquímica del almidón.....	75
5.2.1 Contenido de humedad.....	75
5.2.2 Granulometría.....	76

5.2.3 Colorimetría.....	81
5.2.4 Densidad aparente.	85
5.2.5 Acidez titulable y pH.....	86
5.2.6 Contenido de amilosa.	87
5.3 Caracterización funcional del almidón.....	89
5.3.1 Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA) y Poder de hinchamiento (PH).....	89
5.3.2 Sinéresis.....	97
5.3.3 Análisis de perfil amilográfico	100
5.3.4 Fuerza máxima de fractura del gel formado (Dureza).....	107
5.3.5 Análisis de variables térmicas mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	110
6. Conclusiones	115
Bibliografía.....	118
Anexos	124

Lista de tablas

	Pag.
Tabla 1. Ficha de papa criolla (Grupo Phureja).	28
Tabla 2. Composición nutricional de papa criolla Yema de Huevo y papa común.	29
Tabla 3. Propiedades de los componentes del almidón.....	36
Tabla 4. Contenido de almidón de algunos alimentos.....	38
Tabla 5. Características de los gránulos de almidón.	49
Tabla 6. Medias e intervalos al 95% de la LSD de Fisher para la variable rendimiento y resumen estadístico del rendimiento de almidón	74
Tabla 7. Variedades de papa seleccionadas para la caracterización fisicoquímica y funcional de su almidón.....	75
Tabla 8. Medias e intervalos al 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico del contenido de humedad del almidón.....	76
Tabla 9. Resultados de granulometría y parámetros de modelado de Rosin Rammler (R-R) para el almidón.	80
Tabla 10. Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico del índice de color (IC) del almidón.	82
Tabla 11. Espacio de color del almidón de las diferentes variedades	83
Tabla 12. Imágenes fotográficas del almidón de las diferentes variedades.....	84
Tabla 13. Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico de la densidad aparente del almidón.	86
Tabla 14. Resultados de Acidez titulable y pH.	87

Tabla 15. Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico del contenido de amilosa en el almidón.....89

Lista de Cuadros

	Pag.
Cuadro 1. Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico del índice de absorción de agua (IAA) del almidón	94
Cuadro 2. Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico del índice de solubilidad en agua (ISA) del almidón.....	95
Cuadro 3. Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico del poder de hinchamiento (PH) del almidón.	96
Cuadro 4. Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico de la sinéresis del almidón.....	99
Cuadro 5. Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico de los resultados de l perfil amilográfico del almidón de las variedades estudiadas.	105
Cuadro 6. Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable Temperatura de gelatinización (Tg).	106
Cuadro 7. Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico de la dureza del gel de almidón.....	109
Cuadro 8. Propiedades térmicas de gelatinización (DSC) del almidón de las variedades de papa nativa.	113

Lista de Figuras

		Pag.
Figura 1.	Esquema de la cadena productiva de la papa criolla.....	33
Figura 2.	Estructura de la amilosa.	34
Figura 3.	Estructura de la amilopectina.	35
Figura 4.	Representación esquemática de la estructura granular del almidón.	37
Figura 5.	Representación esquemática de los cambios de los gránulos de almidón durante el procesamiento hidrotérmico.....	47
Figura 6.	Termograma de DSC de la gelatinización de almidón en exceso de agua y a contenido de humedad intermedio.	47
Figura 7.	Representación esquemática de los cambios del almidón durante el calentamiento en exceso de agua paralelo a un termograma típico de DSC.....	48
Figura 8.	Peladora de tubérculos marca COMEK.	56
Figura 9.	Licadora industrial marca JAVAR.....	56
Figura 10.	Extracción de almidón por vía húmeda, filtración.	57
Figura 11.	Precipitados de las diez variedades de papa procesadas.	57
Figura 12.	Secado de almidón en Unidad de secado y humidificación FIC.	58
Figura 13.	Determinación de Humedad. Equipo KERN DBS.	59
Figura 14.	Tamizadora Pinzuar.	60
Figura 15.	Tamiz con almidón retenido.	60
Figura 16.	Espectrofotómetro CM5-Konica Minolta.	63
Figura 17.	Medidor de pH Jenway modelo 3510.	64
Figura 18.	Tubos Falcón con muestras de almidón en baño María.	66

Figura 19.	Centrifuga con muestras de almidón.....	67
Figura 20.	Gel formado por el almidón.....	67
Figura 21.	Horno Convector PIRON PF6004CTD.	68
Figura 22.	Reómetro MCR 302.....	69
Figura 23.	Texturómetro TX1 LLOYD 1S1.	70
Figura 24.	Calorímetro de Barrido Diferencial (DSC) TA Instruments, modelo Q20.....	71
Figura 25.	Diagrama de medias e intervalos al 95% de la LSD de Fisher para la variable rendimiento.	74
Figura 26.	Diagrama de medias e intervalos al 95% de la LSD de Fisher para la variable contenido de humedad.	76
Figura 27.	Modelo de Rosin Rammler (R-R) del almidón de la variedad Jardinera.....	78
Figura 28.	Modelo de Rosin Rammler (R-R) del almidón de la variedad Latina.	78
Figura 29.	Modelo de Rosin Rammler (R-R) del almidón de la variedad Colombia.....	79
Figura 30.	Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable índice de color (IC).	82
Figura 31.	Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable Densidad Aparente.....	85
Figura 32.	Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable Contenido de Amilosa.....	89
Figura 33.	Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable Índice de Absorción de Agua (IAA).	92
Figura 34.	Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable Índice de Solubilidad en Agua (ISA).	92

Figura 35.	Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable Poder de Hinchamiento (PH).	93
Figura 36.	Evolución del porcentaje de sinéresis para los geles de almidón almacenados a temperatura de refrigeración.	98
Figura 37.	Perfil Amilográfico del Almidón de la variedad Jardinera.	103
Figura 38.	Perfil Amilográfico del Almidón de la variedad Latina.	104
Figura 39.	Perfil Amilográfico del Almidón de la variedad Colombia.	104
Figura 40.	Temperatura de gelatinización VS contenido de Amilosa.	106
Figura 41.	Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable Dureza.	108
Figura 42.	Perfil de la dureza del gel.	110
Figura 43.	Termograma de DSC para el almidón de la variedad Jardinera.	113
Figura 44.	Termograma de DSC para el almidón de la variedad Latina.	114
Figura 45.	Termograma de DSC para el almidón de la variedad Colombia.	114

Lista de Anexos

	Pag.
Anexo 1. Matriz experimental del rendimiento de extracción de almidón.....	125
Anexo 2. Metodología para densidad aparente.....	126
Anexo 3. Metodología para acidez titulable y pH.	127
Anexo 4. Matriz experimental de las propiedades fisicoquímicas del almidón.....	128
Anexo 5. Metodología para Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento.	130
Anexo 6. Matriz experimental de las propiedades funcionales de almidón.....	131

Introducción

La papa es una especie de reconocida importancia en el mundo. Ocupa el cuarto lugar como producto alimenticio agrícola después del arroz, el trigo y el maíz. En Colombia es un alimento básico de la población y uno de los principales cultivos con más de 107.000 hectáreas sembradas en 2014 (FAO, 2017).

De acuerdo con Cerón, Hurtado, Osorio, & Buchely (2011), el departamento de Nariño se destaca en la producción y comercialización de papa por disponer de condiciones agroecológicas favorables para su cultivo, puesto que la producción óptima de la papa se da en aquellas zonas ubicadas entre los 2.500 y 3.000 metros de altitud sobre el nivel del mar, por lo que el 80% de su producción en Colombia se concentra en tres departamentos: Cundinamarca (42%) Boyacá (23%) y Nariño (14%). En estos departamentos esta es la actividad rural que más ingresos y empleo genera (Martínez, 2006).

En cuanto a la papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *phureja*), esta es una especie diploide, originaria de América del Sur, cultivada en la zona oriental de los Andes. Tiene un alto valor nutritivo, pues según Gómez (2004), esta reporta el doble de nutrientes con respecto a la papa común.

Actualmente este tubérculo no sólo se comercializa para su consumo en fresco, también se ha aprovechado su potencial en la industria. Algunos procesamientos que se han venido estudiando e implementando en empresas colombianas con esta papa, son: encurtidos, deshidratados, freídos, precocidos, preformados, almidones, entre otros (Manchola R., 2012).

Cabe destacar que el departamento de Nariño presenta una importante variedad de papas nativas; de estas 118 genotipos fueron reportados en el *catálogo de papas nativas de Nariño* realizado por investigadores de la Universidad Nacional de Colombia (Tinjacá & Rodríguez, 2015). Sin embargo el estudio de dichas variedades ha sido bastante escaso y como consecuencia

su procesamiento a nivel industrial no ha sido aún explotado, perdiendo así la oportunidad de generación de valor agregado y mejoramiento de su cadena productiva.

En este contexto, el trabajo actual fue orientado a dilucidar el potencial industrial de dichas variedades nativas, específicamente mediante la obtención de almidón de papa, uno de sus principales destinos como alimento procesado y de gran importancia en la industria alimentaria y no alimentaria debido a sus múltiples aplicaciones.

De acuerdo a todo lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo caracterizar los almidones extraídos de tres (3) genotipos de papas criollas (*Solanum tuberosum* Grupo *phureja*) nativas cultivadas en el departamento de Nariño, con el fin de contribuir a ampliar la información de estas variedades y ayudar en una posterior orientación hacia su transformación industrial y generación de valor agregado.

1. Planteamiento del problema, pregunta de investigación y justificación en términos de necesidad y pertinencia

Colombia es el primer productor de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *phureja*) en Latinoamérica con un buen mercado interno en los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca, Boyacá, Nariño y Cundinamarca (Ligarreto M & Suarez C., 2003) y su producción se encuentra en los departamentos de Nariño, Cundinamarca, Boyacá, y en menor proporción Antioquia, Santander y Norte de Santander (Cevipapa, 2005), (Orozco, Franco, & Torres, 2013).

La papa criolla posee características valiosas desde el punto de vista culinario y nutricional, por su alto contenido de vitaminas, minerales, fibra y calidad de proteína (Gómez et al., 2012). Fuera del país es un producto innovador y para Ligarreto & Suarez (2003) es considerado como un producto básico de la seguridad alimentaria en el país.

Sin embargo, a pesar del amplio potencial de este cultivo, la cadena de la papa criolla cuenta con una variedad de dificultades que según Bonierbale et al. (2004), están principalmente reflejadas en el bajo grado de procesamiento industrial para la transformación y por consiguiente la falta de incorporación de valor agregado

Debido a la corta vida útil del tubérculo, el almacenamiento es complicado y la comercialización y procesamiento del mismo se debe realizar en el menor tiempo posible, ya que la rápida brotación y el manchado afectan considerablemente su calidad y características fisicoquímicas (Gomez, 2004), de aquí la fuerte necesidad de un proceso de industrialización en la cadena.

Según Ortega Florez (2012), en este sector el abastecimiento de tubérculo se ve afectado por los requerimientos de calidad para procesamiento que demanda la industria que no son fáciles de cumplir por parte de los productores, por lo que un alto volumen de tubérculo es rechazado.

Para Gomez (2004), del estado tradicional y poco tecnificado de esta cadena se desprende una

ventaja, los pequeños productores han preservado durante muchos años material vegetal promisorio que ha sido utilizado para el mejoramiento genético. Este es el caso de la región nariñense, en donde se requieren investigaciones que permitan caracterizar estas variedades nativas con el fin de vislumbrar sus fortalezas de cara a un procesamiento industrial que permita contrarrestar los problemas mencionados en esta cadena productiva.

Según Ligarreto & Suarez (2003), la papa criolla es un producto con un potencial industrial que lo vuelve muy atractivo para mercados externos, en los cuales predomina la papa como producto congelado, pero también existe una gran oportunidad para productos derivados con una alta demanda en el sector alimentario como harinas, pellets y almidones.

En cuanto al almidón, no hace falta buscar mercados en el exterior, pues de acuerdo con Manchola R. (2012) Colombia ha invertido millones de dólares en importaciones de almidón para la elaboración de productos en diferentes industrias que lo emplean principalmente como adhesivo; puesto que lo que se produce no es suficiente para cubrir la demanda.

El almidón, es una materia prima con un amplio campo de aplicaciones que van desde la impartición de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables (Mendoza & Herrera, 2012). Es por esto que estudiar las propiedades de almidones provenientes de papas nativas del departamento de Nariño cobra bastante relevancia en vista a una potencial industrialización de la cadena productiva, junto con los beneficios notables que esto traería para muchos productores del departamento.

En consecuencia a esta situación, este trabajo dio respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué propiedades fisicoquímicas y funcionales poseen los almidones provenientes de variedades nativas de papa criolla (*Solanum phureja*) cultivada en el departamento de Nariño?

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Caracterizar los almidones provenientes de 3 genotipos de papa criolla (*Solanum phureja*) nativa cultivada en el departamento de Nariño.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar algunas propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones provenientes de 3 genotipos de papa criolla (*Solanum phureja*) nativa cultivada en el departamento de Nariño.
- Comparar las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones provenientes de 3 genotipos de papa criolla (*Solanum phureja*) nativa cultivada en el departamento de Nariño.

3. Marco Teórico

3.1 Generalidades de la papa criolla (*Solanum phureja*).

El grupo Phureja es diploide ($2n = 24$) y está distribuido geográficamente desde el norte de Bolivia hasta el suroeste de Colombia (Peña et al., 2015), generalmente a alturas entre los 2.000-3.400 msnm como lo indica Manchola R. (2012); y su nombre Phureja o fureja deriva del Aymara y alude a su precocidad (Phureja= temprana o precoz) (Rojas Mercado & Seminario Cunya, 2014). Una vez se ha realizado la recolección del producto, su vida útil como producto fresco es de pocos días, debido a que se brota o germina con prontitud. Su ciclo vegetativo requiere un período que oscila entre cuatro y cinco meses (Rodríguez Rozo & Ramírez, 2011).

En Colombia este grupo es conocido mediante gran cantidad de nombres diferentes tales como: Yema de Huevo, Criolla, Manzana, Reina, Chispa llama, Tabaca negra, Piña, Chaucha, entre otras (FEDEPAPA, 2009a).

Los tubérculos del grupo Phureja tienen una alta variabilidad en la forma, desde esférica a ovoide, y el color varía de amarillo a morado, tanto en pulpa como en piel (Peña et al., 2015). En la Tabla 1 se puede observar la descripción morfológica de papa (*Solanum tuberosum*) y sus parientes silvestres (FEDEPAPA, 2009a).

De acuerdo con Manchola R. (2012), la papa criolla posee mejores características nutricionales que la papa común. Esta se destaca por sus cualidades culinarias y características como alto valor nutricional, aporte de carbohidratos, fuente de proteínas de alto valor biológico, vitaminas solubles en agua (vitamina C y complejo B), minerales (Fe, Zn, Cu y Ca) y carotenoides; además presenta diversidad de genotipos con altos contenidos de proteína y masa seca (MS) (Rodríguez, Ñustez, & Estrada, 2009), (Gomez Susa, 2004). Sin embargo, de acuerdo con Peña et al. (2015), su diversidad sugiere una variabilidad considerable en su composición nutricional. En la Tabla 2 se resume la información nutricional de una de las variedades de papa

criolla más reconocidas en Colombia (FEDEPAPA, 2009a).

Por otra parte, Ligarreto & Suarez (2003) resaltan otras cualidades como resistencia y/o tolerancia a *Phytophthora infestans*, *Ralstonia solanacearum*, *Spongospora subterránea*, *Rhizoctonia solani*, PVX, PVY y algunos nemátodos, así como al virus del amarillamiento de venas PVV. Además sugieren que gracias a la presencia de metabolitos secundarios, tales como compuestos fenólicos, carotenoides y alcaloides, esta papa diploide se puede incluir dentro de los llamados alimentos funcionales.

Tabla 1.**Ficha de papa criolla (Grupo Phureja).**

ÓRGANO	CARACTERÍSTICAS
Plantas y hojas	Tallos simples o ramificados, 30 – 60 (-80) cm de altura por 6 – 8 (-12) mm de diámetro en la base, vertical a semidecumbente o decumbente, no alado o ligeramente alado, usualmente pigmentado con púrpura. Hojas usualmente amplias y abreviadas, 15 – 23 (-30) cm de longitud por 8– 10 (-14) cm de ancho, con 5 – 6 (-7) pares de foliolos y un número variable (18 - 30) de foliolos interpuestos de diferentes tamaños. Entre otras características.
Flores	Pedicelos angostos, 15 – 20 (-25) mm de longitud, articulados cerca del centro o por encima del primer tercio superior del tallo. Cáliz, 7 -8 mm de longitud, usualmente fuertemente pigmentado, asimétrico con 1 o 2 pares de lóbulos unidos, u ocasionalmente simétricos. Entre otras características.
Fruto	Fruto globoso, ovoide a oval-cónico, 1.5 – 2.5 cm de longitud, verde claro o verde con rayas verticales púrpura claro. Numero cromosómico: 2n=24. Raramente autotetraploide 2n=48.
Estolones y tubérculos	Tubérculos ampliamente oblongos u oval-elongados a subcilíndricos largos, ojos profundos, brotes azul-violeta oscuro, peridermo variegado con rojo-violeta y blanco-amarillento a amarillo, pulpa blanca o blanco-grisácea.

Tabla 2.**Composición nutricional de papa criolla Yema de Huevo y papa común.**

NUTRIENTES	CONTENIDO PAPA CRIOLLA (<i>Solanum phureja</i>)	CONTENIDO PAPA COMÚN (<i>Solanum tuberosum</i>)
Agua	75.5 g	77.4 g
Calorías	83 Kcal	86 Kcal
Proteína	0.5 g	0.2 g
Grasas	0.1 g	0.1 g
Carbohidratos	18.7 g	20 g
Fibra cruda	2.2 g	2 g
Cenizas	1.0 g	328 mg
Vitamina C	15 mg	7.4 mg
Fosforo	54 mg	40 g
Hierro	0.60 mg	-----
Calcio	7 mg	8 mg
Riboflavina	0.06 mg	-----
Niacina	2.5 mg	1.3 mg
Ácido ascórbico	15 mg	9 mg
Tiamina	0.08mg	-----

Fuente: (FEDEPAPA, 2009a)

3.1.1 Desarrollo agroindustrial de la papa criolla (*Solanum phureja*) en Colombia.

En su análisis de la agroindustria de la papa criolla, Rodríguez Rozo & Ramírez (2011), indican que es importante conocer el funcionamiento de la cadena productiva como sistema con el fin de comprender el papel que desempeñan los distintos eslabones de la cadena de papa criolla.

El modelo de la cadena productiva de este producto se resume en la Figura 1, el cual está conformado por seis eslabones que involucran diferentes actores tales como: proveedores de insumos, productores agrícolas, comercializadores mayoristas, industria, comercializadores minoristas y consumidores (Rodríguez Rozo & Ramírez, 2011).

- **Consumidor final.** El eslabón de consumidores finales está conformado por todos los demandantes de papa criolla para consumo directo en fresco o procesado y que están dispuestos a pagar un determinado precio. Los consumidores finales pueden ser clasificados como internos o externos. El primer grupo reúne a gran variedad de actores de diversa condición socioeconómica, mientras que se consideran consumidores externos aquellos países como Japón o Estados Unidos o de la Unión Europea que consumen productos procesados de papa criolla.
- **Comercializadores minoristas.** Está conformado por todos los distribuidores minoristas, los cuales se caracterizan por un elevado volumen de ventas al detal. Dentro de este eslabón se encuentran tiendas, supermercados y plazas de mercado.
- **Comercializadores mayoristas.** Está conformado por todos los distribuidores que realizan el traslado y comercialización de elevados volúmenes de papa criolla desde los centros de producción hasta los centros de consumo. Este eslabón se caracteriza por ejercer un poder de mercado bastante importante, principalmente sobre el precio del producto. De acuerdo con lo anterior, se tienen identificados los siguientes segmentos: acopiador rural, plaza local o regional, acondicionador o lavador y centrales mayoristas terminales.
- **Productores agrícolas.** Está conformado por todos los agricultores que destinan la totalidad o la gran mayoría de sus tierras disponibles al cultivo de cualquier variedad de papa criolla. Estos productores se clasifican en dos categorías: pequeños y medianos. Se define como productores pequeños a los agricultores que desarrollan su actividad en extensiones de tierra menores de tres hectáreas y realizan la comercialización de su producto a través de acopiadores rurales, o a través de plazas locales o regionales. Representan el 91,5% de los cultivadores de papa en el país y producen alrededor del 45% del total de la papa en el país.

Los productores medianos son quienes desarrollan su actividad en extensiones de tierra de entre tres y nueve hectáreas, con cultivos que implementan algún tipo de mecanización. Realizan la comercialización del producto en forma directa en plazas locales o regionales, centrales mayoristas, y también pueden vender su producción al lavador o a la agroindustria. Este segmento constituye el 7% de los cultivadores y participan con cerca del 35% del total de la producción de papa.

- **Proveedores de insumos.** Está conformado por todos los productores de insumos utilizados en el cultivo de la papa criolla. Estos proveedores se pueden clasificar en proveedores de semilla, de servicios, de agroquímicos, de empaques y de maquinaria.
- **Agroindustria de la papa criolla.** Hace referencia al eslabón de la cadena productiva que realiza la transformación industrial y/o elaboración de productos procesados utilizando como materia prima fundamental la papa criolla

Según Orozco et al. (2013), en Colombia la producción total de papa criolla disponible se utiliza, ya sea para consumo en fresco (80-92%) o procesado (7-8%). Algunos procesamientos que se han venido estudiando e implementando en empresas colombianas con esta papa, son: encurtidos, deshidratados, freídos, precocidos, preformados, almidones, entre otros (Ramirez & Zarate, 2012).

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. Para 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, y su capacidad de producción es reducida, por eso se limitan a elaborar una o dos presentaciones como máximo de productos basados en la papa criolla, donde generalmente predomina la papa precocida y

congelada.

Para el segundo caso estas empresas no solo se dedican al procesamiento de papa criolla; además, realizan actividades como el acondicionamiento y venta de papa criolla 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.

Por otra parte Rodríguez Rozo & Ramírez (2011), afirman 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. Por ejemplo Martínez et al. (2015), resaltan que variedades de papas utilizadas para la obtención de almidón son comerciales, pero también es posible extraer almidón de variedades nativas, con lo que se da un valor agregado a éstas.

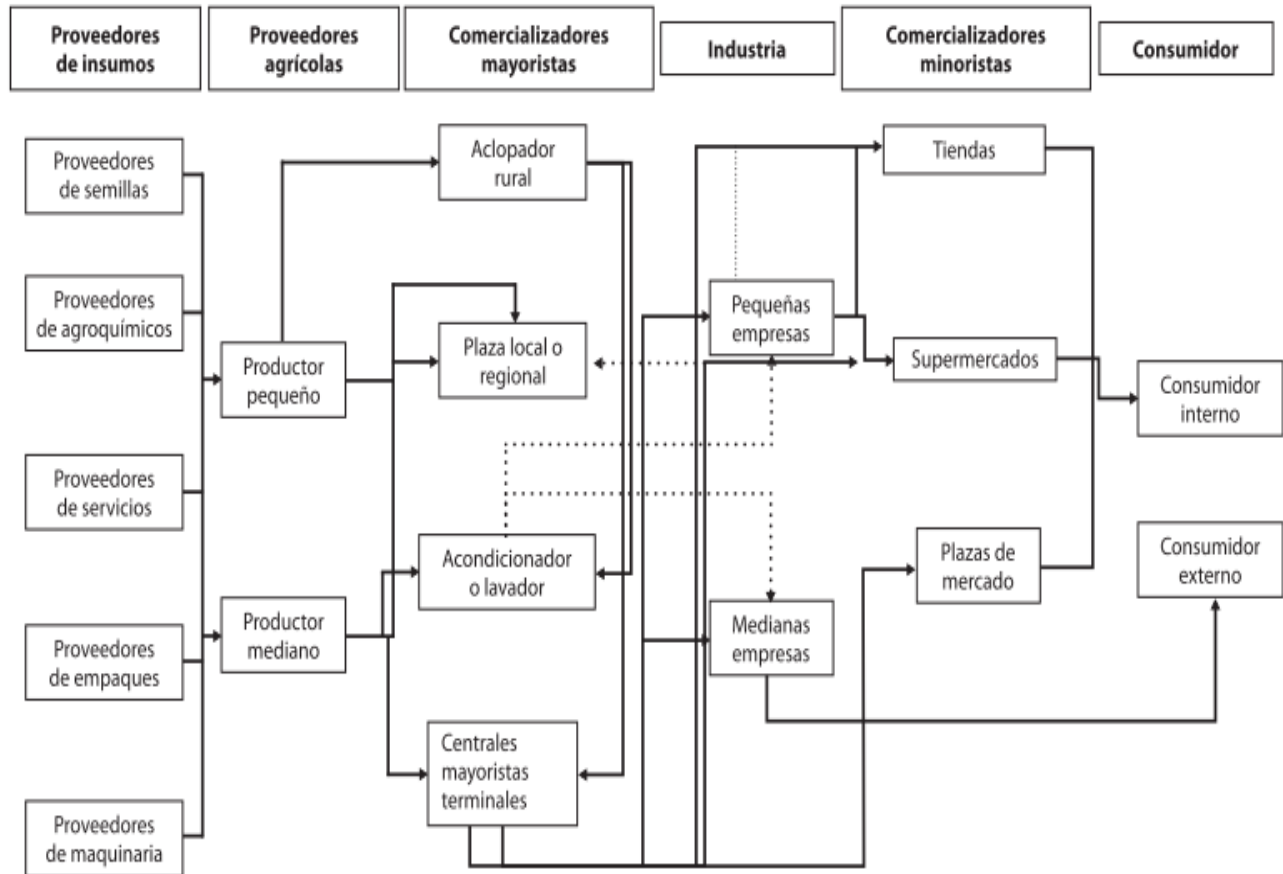


Figura 1. Esquema de la cadena productiva de la papa criolla.

Fuente: (Bonilla et al., 2009)

3.2 Almidón

El almidón está compuesto por dos biopolímeros, diferentes en su estructura, los cuales son la amilosa y amilopectina (Aldana, Sandoval, & Fernandez, 2005). En la Tabla 3 se muestran las propiedades de los componentes del almidón (Aristizábal & Sánchez, 2007).

La amilosa (Figura 2), es un polímero esencialmente lineal compuesto enteramente por enlaces α -1-4 D-glucopiranososa, aunque se presentan algunas ramificaciones en este polímero. La amilosa se representa como una estructura de cadenas rectas aunque usualmente existe en forma de hélice, lo cual le permite formar complejos con ácidos grasos libres, mono y diglicéridos, alcoholes lineales y yodo (Aldana et al., 2005).

Las moléculas de amilosa consisten típicamente de 200 a 20.000 unidades de glucosa que se despliegan en forma de hélix como consecuencia de los ángulos en los enlaces entre las moléculas de glucosa. La cadena presenta una alta cantidad de hidroxilos los cuales se agrupan por medio de puentes de hidrógeno, formando así una estructura fuerte debido a la retrogradación (Manchola R., 2012b). Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno (Hernández-Medina, Torruco-Uco, Chel-Guerrero, & Betancur-Ancona, 2008).

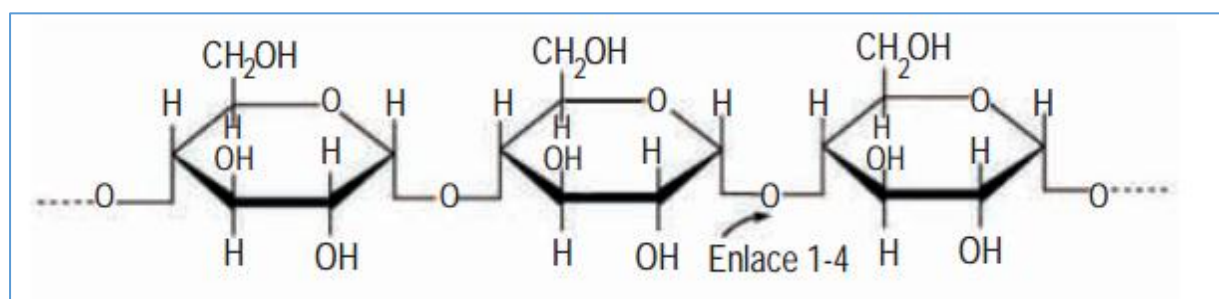


Figura 2. Estructura de la amilosa.

Fuente: citado por Aristizábal & Sánchez (2007)

Por otro lado, la amilopectina (Figura 3), es la molécula predominante del almidón y es un polímero ramificado de mayor tamaño que la amilosa, compuesta por segmentos unidos por enlaces α -1-4 glucosa, conectadas por ramificaciones de enlace α -1-6 (Aldana et al., 2005).

Debido a su estructura ramificada, Manchola R. (2012), reporta que reduce la posibilidad de formar puentes de hidrógeno, en consecuencia su estructura no es fuerte ni flexible, sin embargo se caracteriza por su claridad y estabilidad, debido a la resistencia que presenta a la gelificación en el almacenamiento; consta de cadenas laterales cortas conteniendo aproximadamente 30 unidades de glucosa que se unen con enlaces α 1 \rightarrow 6 cada veinte o treinta unidades de glucosa a lo largo de las cadenas principales. Las moléculas de amilopectina pueden contener hasta dos millones de unidades de glucosa.

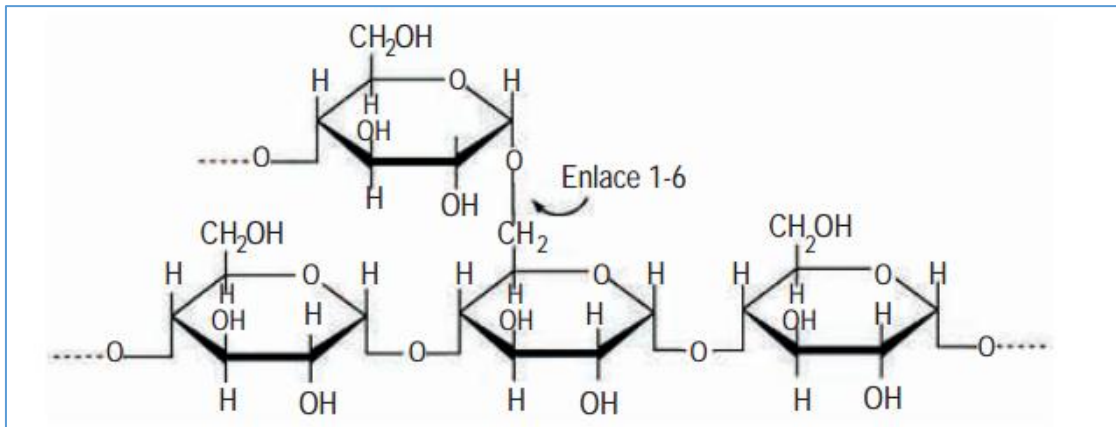


Figura 3. Estructura de la amilopectina.

Fuente: citado por Aristizábal & Sánchez (2007)

La amilopectina es la responsable de la estructura del gránulo de almidón, el cual consta de áreas cristalinas (cristales, micelas) y no cristalinas (amorfos, fase gel), arregladas 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 (Aldana et al., 2005).

Tabla 3.***Propiedades de los componentes del almidón.***

PROPIEDAD	AMILOSA	AMILOPECTINA
Estructura	Lineal	Ramificada
Longitud promedio de la cadena	200-2000 unidades de glucosa	Cadenas ramificadas de 20-30 unidades de glucosa
Peso molecular	40 000 hasta 10^6	200 000 hasta 10^9
Grado de polimerización	Aprox. 10000	10 000 hasta 100 000
En solución	Hélice extendida o enrollada	Esfera irregular
Estabilidad en soluciones acuosas	Retrograda	Estable
Acomplejamiento	Con facilidad	Con dificultad
Retrogradación	Rápida	Muy lenta
Gel	Firme e irreversible	Suave y reversible
Formación de complejos	Favorable	Desfavorable
Patrón de rayos X	Cristalino	Amorfo
Digestibilidad de la B-amilasa	Casi completa	Cerca del 60%
Reacción con yodo	19-20%	5-9%
Color en la solución de yodo	Azul profundo	Violeta
Longitud de onda máxima (nm)	Aprox. 660	530-550

Fuente: citado por (Aristizábal & Sánchez, 2007)

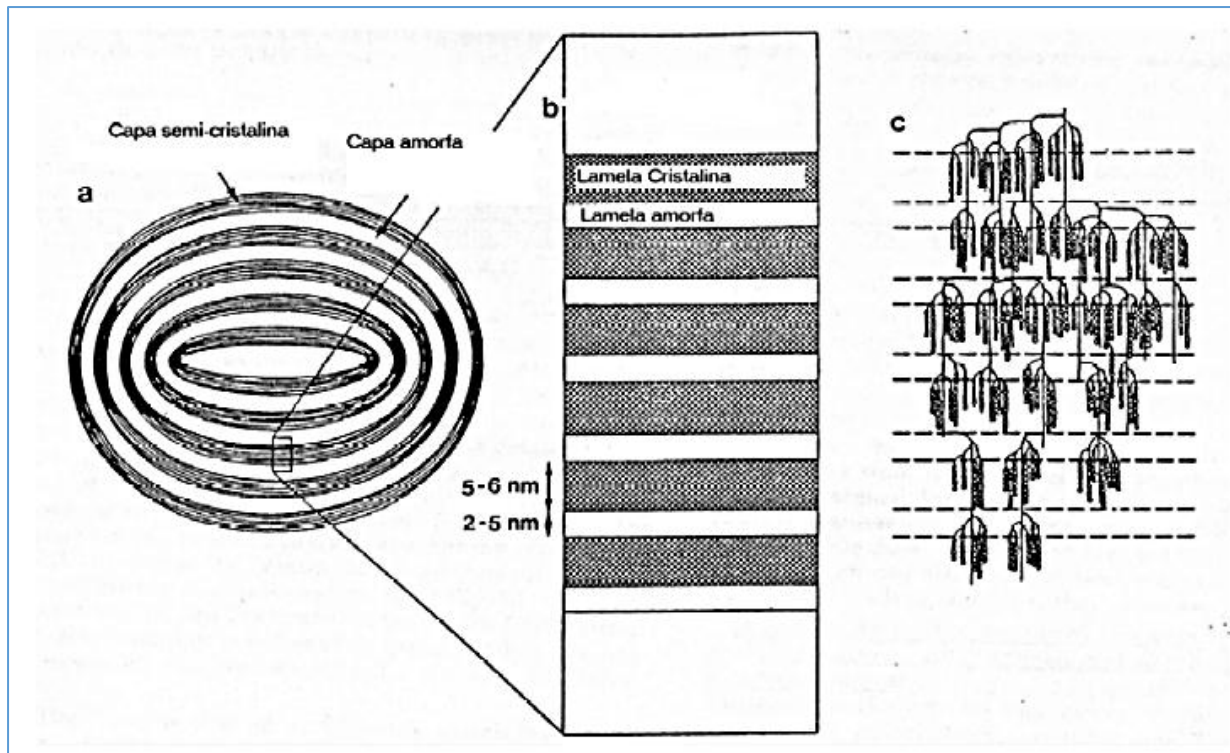


Figura 4. Representación esquemática de la estructura granular del almidón.

Fuente: citado por Aldana et al. (2005)

Dónde: (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.

3.2.1 Fuentes botánicas del almidón

De las calorías consumidas por los humanos, cerca del 70 al 80% provienen del almidón. Es la principal fuente de almacenamiento de energía en los vegetales, ya que se encuentra en grandes cantidades en las diversas variedades de plantas, como, por ejemplo, en los granos de cereales, los cuales contienen entre 60 y 75% de su peso seco de almidón, así como también, puede encontrarse en tubérculos, semillas de leguminosas y en algunas frutas, y su concentración varía con el estado de madurez de los mismos. En la Tabla 4 se observa el contenido de almidón de algunas fuentes botánicas (Offner, Bach, & Sauvart, 2003).

En virtud de que las fuentes convencionales más importantes para la extracción de este polisacárido son los granos de cereales como el maíz, trigo, arroz y sorgo; tubérculos como la papa, yuca, boniato y sagú; encontrándose también en hojas, semillas de leguminosas y frutas, la tendencia actual es buscar fuentes no convencionales como alternativas para obtener almidones que presenten diversas características fisicoquímicas, estructurales y funcionales, que amplíen la gama de usos en la industria.

Entre las materias primas que pueden ser utilizadas como nuevas fuentes de extracción de este polímero se encuentran los tubérculos, ya que estos juegan un papel significativo en el sistema global de alimentación y contribuyen a los requerimientos energéticos de más de 2 millones de personas en los países en vías de desarrollo. Los cultivos más importantes de raíces y tubérculos a nivel mundial son la yuca (*Manihot esculenta*), batata (*Ipomea batata*), papa (*Solanum tuberosum*), ñame (*Dioscorea spp.*), ocumo (*taro, ayutia = Colocasia esculenta*) y tannia (*Xanthosoma spp.*) (Hernández-Medina et al., 2008).

El almidón de diferentes fuentes botánicas varía en su composición, morfología, estructura molecular tanto como su arreglo y contenido de amilosa y amilopectina (Martínez et al., 2015).

Tabla 4.

Contenido de almidón de algunos alimentos.

ALIMENTO	ALMIDÓN BASE SECA (%)
Maíz	70.4
Sorgo	72.3
Cebada	57.8
Trigo	67.6
Avena	44.6
Gluten feed	20.6
Afrechillo de arroz	27.9
Harina de soja	3.20
Papa	69.1

Fuente: (Offner et al., 2003)

3.2.2 Aplicaciones industriales del almidón

El almidón es una materia prima con un amplio campo de aplicaciones que van desde la impartición de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables (Hernández-Medina et al., 2008).

En la industria de alimentos, de acuerdo con Garnica, Romero, Cerón, & Prieto Contreras (2010), este polímero actúa como: adhesivo, ligante, enturbiante, formador de películas, estabilizante de espumas, agente antienviejamiento de pan, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante. También puede usarse para aglutinar, desintegrar, expandir o apelmazar, clarificar u opacar, atrapar humedad o repelerla, modificar textura y estabilizar emulsiones. Por la cantidad de usos se considera un ingrediente multifuncional en la industria de alimentos.

Debido a que el almidón es el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional (espesante, estabilizante y gelificante) en la industria alimentaria, Hernández-Medina et al. (2008), sugiere que es necesario buscar nuevas fuentes de extracción, ya que con una producción mundial de 48,5 millones de ton/año, existe una demanda insatisfecha del mismo.

3.2.3 Proceso de extracción de almidón de papa.

Para el proceso de extracción artesanal e industrial del almidón, Manchola R. (2012), describe a continuación una serie de diferentes operaciones:

- **Recibo y pesaje.** Primero la materia prima o la papa se recibe y se pesa para pasarla después a un almacenamiento.
- **Almacenamiento.** Este se realiza en una bodega, la cual ha sido previamente acondicionada a condiciones de humedad relativa baja y temperatura ambiente para evitar cualquier tipo de plaga y así no comprometer la calidad del producto final.

- **Selección.** Los tubérculos se ubican en bandas transportadoras para llevarlos hacia el lugar de lavado; durante este recorrido los operarios encargados de la selección eliminan visualmente los elementos que no sean aptos para obtener un producto final de óptima calidad.
- **Lavado y pelado.** En esta etapa del proceso la papa es lavada y pelada, eliminando suciedad y la cáscara para posteriormente pasar los tubérculos acondicionados al molino.
- **Molienda.** Esta es la última etapa de preparación de la materia prima antes de la extracción, porque los tubérculos son llevados a una tolva que alimenta el molino con el fin de obtener una pasta fina. Los gránulos de almidón son liberados, puesto que mediante la trituración las paredes celulares de la pulpa que lo contienen se desintegran.
- **Filtrado y concentración del almidón.** La lechada que viene de los extractores contiene proteína, materia grasa, sustancias contaminantes y sustancias insolubles como la celulosa y partículas del raspado, se recolecta en un tanque del cual pasa con la ayuda de una bomba hacia los hidrociclones para quitarle toda el agua, lavarla y concentrarla.
- **Centrifugación.** El almidón se transfiere a las centrífugas donde se elimina agua hasta obtener una humedad del 38%. En estas condiciones el almidón es transportado mediante un transporte tipo sinfín al secador.
- **Secado.** El producto húmedo es tratado mediante una corriente de aire caliente el cual al hacer contacto con el almidón hace que éste se disperse. Simultáneamente, el aire se satura de la humedad del almidón lo que hace que este se seque.
- **Tamizado.** Para que el almidón esté perfectamente refinado se tamiza y así se logra uniformidad en el tamaño de gránulo.
- **Envasado y pesaje.** El producto se envasa en bolsas de polipropileno a través de un

dosificador que se encuentra incorporado al tamizador antes mencionado. Luego es pesado el almidón y llevado al almacén.

- **Almacenamiento.** El almidón obtenido se debe guardar en un lugar seco y fresco, construido especialmente para ello; este lugar debe cumplir con la reglamentación estipulada para evitar contaminación del producto.

En seguida, se describen algunas pruebas fisicoquímicas y funcionales que se realizan para la caracterización del almidón.

3.2.4 Propiedades fisicoquímicas del almidón

Las propiedades fisicoquímicas son las que determinan el uso del almidón. Entre las propiedades fisicoquímicas más importantes Aristizábal & Sánchez (2007) incluyen la composición proximal (contenido de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y humedad), las características del gránulo (tamaño, color y forma, naturaleza cristalina), el peso molecular y el contenido de amilosa.

- **Contenido de humedad.** El almidón de papa seco grado industrial es de color blanco puro y contiene una humedad del 11- 13%, además, este parámetro es muy importante puesto que los hongos y levaduras se desarrollan en condiciones desfavorables para el crecimiento bacteriano como bajo contenido de humedad (Aristizábal & Sánchez, 2007).
- **Granulometría.** Aldana, Sandoval, & Fernandez (2005), afirman que el almidón existe en entidades discretas, semicristalinas las cuales reciben el nombre de gránulos. El tamaño, la forma y la estructura de los gránulos difieren substancialmente entre fuentes botánicas, los diámetros varían en un rango de 1 μm a 200 μm ; las formas pueden ser elípticas, esféricas, angulares; simples o compuestos. Además indican que existe amplia diversidad en la estructura y las características del gránulo de almidón nativo, incluyendo variación

significativa entre gránulos de una misma especie.

- **Colorimetría.** El color puede ser evaluado mediante la determinación del índice de color IC^* , donde L, a, y b son los parámetros del sistema color CIELAB. El parámetro L proporciona un valor de la Luminancia o brillo de la muestra. El parámetro a indica la zona de variación entre el rojo y el verde del espectro. El parámetro b se refiere a la zona de variación entre el amarillo y el azul del espectro. El IC^* por sus características de variación puede utilizarse como variable de control de la calidad organoléptica de alimentos (Vignoni, Césari, Forte, & Mirábile, 2006).
- **Densidad aparente.** La densidad aparente es definida como el peso seco de una unidad de volumen de almidón. Los factores que la afectan en el caso del almidón son la textura, la estructura y por consiguiente su composición molecular (Manchola R., 2012b).
- **Acidez titulable y pH.** El valor del pH y de la acidez titulable son buenas medidas del grado de fermentación del almidón. El pH disminuye a 4.0 cuando sucede una fermentación ácida. El crecimiento de hongos libera amoníaco e incrementa el valor del pH (FAO, 1999).
- **Contenido de amilosa.** el contenido de amilosa y amilopectina, son determinantes en ciertas características estructurales y funcionales del almidón, y por lo tanto condicionan que éste pueda ser añadido a un alimento específico para mejorar sus características y apariencia (Martínez et al., 2015).

3.2.5 Propiedades funcionales del almidón.

Las propiedades funcionales de los almidones dependen directamente de la relación amilosa/amilopectina. En los distintos cultivos amiláceos esta relación es constante, si bien cambia de una variedad a otra dentro de la especie y también entre plantas de la misma variedad. Estas propiedades están influenciadas por factores genéticos (diferencias varietales) y por

factores como la edad de la planta, la época de cosecha, la fertilidad del suelo y la precipitación, entre otras cosas (Aristizábal & Sánchez, 2007).

Las características funcionales de los almidones son: 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 y capacidad de emulsificación.

- **Poder de hinchamiento, capacidad de absorción de agua y solubilidad.** Cuando se calienta una suspensión acuosa de almidón, los gránulos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua aumentando su tamaño. La determinación de estos índices se mide aprovechando la capacidad de absorción del agua del gránulo de almidón y la exudación de fracciones de almidón a medida que se incrementa la temperatura de las suspensiones de almidón (FAO, 1999).

Aristizábal & Sánchez (2007), indica que durante un tratamiento hidrotérmico, el almidón sufre una serie de modificaciones que van a influir sobre su estructura, pasando por tres fases importantes: gelatinización, gelificación y retrogradación, los cuales causan hinchamiento, hidratación, fusión y ruptura de los geles formados (Figura 5).

En la primera fase de la *gelatinización* el agua se difunde por las zonas amorfas del gránulo de almidón, produciéndose un primer hinchamiento que es reversible. Si el calentamiento continúa, las moléculas de agua alrededor de los gránulos rompen los enlaces de hidrógeno en el interior de los mismos, estos absorben agua lentamente y se hinchan. Este proceso es irreversible y ocurre después de que se alcanza una temperatura crítica que depende de la humedad presente, definida como la temperatura de gelatinización.

La absorción de agua y el aumento de volumen van acompañados de un fuerte aumento de la viscosidad hasta llegar a un máximo llamado *Pico de viscosidad*, en el cual el gránulo se rompe y ocurre una difusión de amilosa y amilopectina, generándose una mezcla de gránulos hinchados ricos en amilopectina, gránulos fundidos hidratados y moléculas disueltas de amilosa.

En la segunda fase de *gelificación* las moléculas de almidón se vuelven menos solubles y tienden a agregarse.

Finalmente la *retrogradación* consiste en la cristalización de las cadenas de los polímeros que son agregados en el gel, cuando las pastas de los almidones son enfriadas. 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. 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.

- **Sinéresis.** Consiste en la expulsión de una parte del disolvente fuera del gel que produce una caída de la viscosidad, como producto de la cristalización y endurecimiento del gel. Además, altas concentraciones de amilosa implican formación de geles fuertes, opacos y que sufren sinéresis. Bajas proporciones de amilosa generan dispersiones claras y viscosas que no gelifican (Aristizábal & Sánchez, 2007).
- **Perfil amilográfico.** Permite determinar datos de valor de la viscosidad máxima, inicio y final del periodo de tenencia, inicio y final del enfriamiento de la muestra de almidón, rompimiento del gránulo y recuperación (reorganización molecular). En cuanto a la

viscosidad, esta característica de los geles disminuye rápidamente con el calentamiento y la agitación, dando como resultado pastas fluídas, de gran transparencia y con escasa retrogradación. Cuando la viscosidad de los almidones es baja y se mantiene en caliente es empleada en alimentos en que necesitan disponer de una alta proporción de sólidos, y por lo tanto compatible con una viscosidad moderada (Manchola R., 2012b).

- **Dureza del gel.** La dureza del almidón gelatinizado se asocia con la matriz de amilosa y el efecto de llenado de los gránulos hinchados (Casas-Alencáster & Pardo-García, 2005).
- **Análisis de variables térmicas mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC).** La funcionalidad del almidón en los sistemas alimenticios se ha investigado a partir del estudio de las modificaciones estructurales, las transiciones de fase y las interacciones con otros constituyentes.

Los métodos calorimétricos se han aplicado extensivamente en el estudio de la estructura y las transiciones de fase del almidón puro, y en sistemas alimenticios complejos. La presencia en el gránulo de almidón de las regiones molecularmente ordenadas, su carácter metaestable (de no equilibrio) y sus interacciones con los constituyentes alimenticios pueden comprobarse por calorimetría diferencial de barrido (DSC) a través de cambios en el flujo de calor durante el calentamiento de una muestra en un rango de temperatura (Aldana et al., 2005).

De acuerdo con Ortiz & Barcia, (2010), el principal cambio que presentan los almidones durante este proceso es la *gelatinización*. A nivel molecular, durante la gelatinización ocurre un colapso (interrupción) de orden molecular dentro del gránulo, ocurren cambios irreversibles en las propiedades tales como hinchamiento granular, pérdida birrefringencia (pérdida de la orientación molecular), pérdida de la cristalinidad (pérdida de la estructura de la doble hélice), el desarrollo de viscosidad y solubilización.

En la Figura 6, se aprecia cómo el gránulo de almidón que está en un medio acuoso y expuesto al calor absorbe agua a medida que aumenta la temperatura hasta hincharse totalmente, provocando la desorganización total dentro del gránulo, es en éste punto donde el gránulo sufre un proceso endotérmico, que como lo indica Ortiz et al. (2010), se manifiesta como un pico en el diagrama (termograma de DSC) debido a la absorción de calor que existe. Finalmente se lleva a la ruptura total del gránulo, producto de los cambios efectuados en la estructura de los mismos.

Las variables térmicas descritas por Carolina et al. (2010) de un termograma de DSC, representadas esquemáticamente en la Figura 7, son las siguientes:

ΔH (*Diferencial de entalpía*): Es la diferencia que existe entre el calor absorbido por la muestra y el calor absorbido por la referencia.

T_o (*Temperatura inicial de gelatinización*): Es la temperatura a la cual el almidón comienza a perder su ordenamiento molecular, donde los puentes de hidrógeno de la región amorfa del gránulo se rompen permitiendo que el agua se asocie a los grupos hidroxilos libres del almidón.

T_p (*Temperatura de gelatinización*): Es la temperatura a la cual los gránulos de almidón están totalmente hidratados y han perdido todo su ordenamiento molecular, lo que dará paso a la ruptura del gránulo.

T_c (*Temperatura final de gelatinización*): Es la temperatura a la cual el gránulo está totalmente desintegrado.

La Tabla 5 muestra la comparación de algunas propiedades fisicoquímicas y funcionales de varios almidones

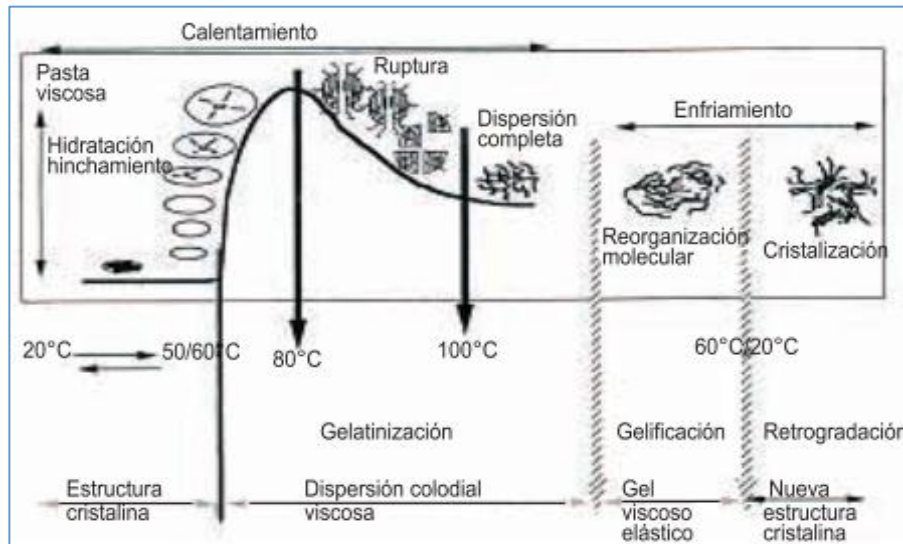


Figura 5. Representación esquemática de los cambios de los gránulos de almidón durante el procesamiento hidrotérmico.

Fuente: citado por Aristizábal & Sánchez (2007)

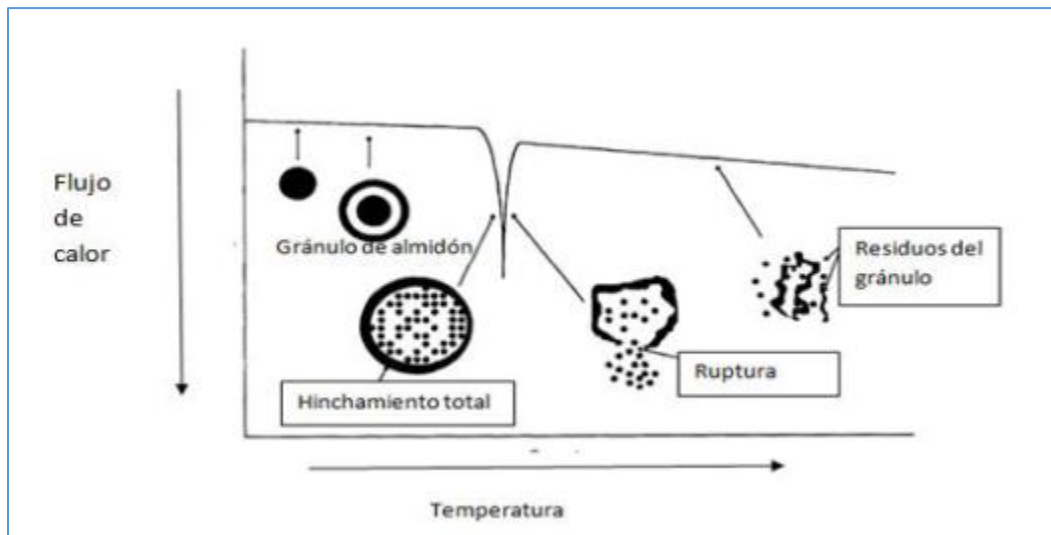


Figura 6. Termograma de DSC de la gelatinización de almidón en exceso de agua y a contenido de humedad intermedio.

Fuente: citado por Coello Ortiz & Garcés Barcia (2010)

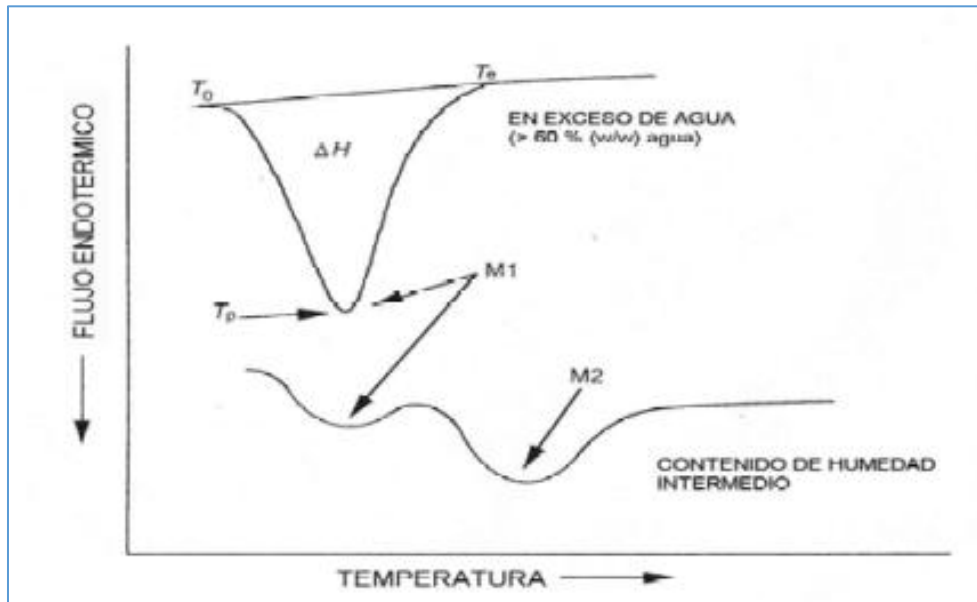


Figura 7. Representación esquemática de los cambios del almidón durante el calentamiento en exceso de agua paralelo a un termograma típico de DSC.

Fuente: citado por Aldana et al. (2005).

Tabla 5.**Características de los gránulos de almidón.**

ALMIDÓN	TIPO	DIÁMETRO (μm)	AMILOSA (%)	TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN ($^{\circ}\text{C}$)	PROPIEDADES DE COCCIÓN
Maíz	Cereal	5-30	25	62-72	Gel opaco
Maíz ceroso	Cereal	5-30	<1	63-72	Claro cohesivo
Yuca	Raíz	4-35	17	62-73	Claro cohesivo tendiente a gelificar
Papa	Tubérculo	5-100	20	59-68	Claro cohesivo tendiente a gelificar
Trigo	Cereal	1-45	25	58-64	Gel opaco
Arroz	Cereal	3-8	19	68-78	Gel opaco
Sago	Tronco	15-65	26	69-74	Gel opaco

Fuente: citado por (Aristizábal & Sánchez, 2007)

3.3 Estado de desarrollo e innovación

Martínez et al. (2015) plantearon como objetivo determinar las propiedades funcionales de almidones obtenidos de papas nativas procedentes de Pampacorral (Cusco, Perú): Puka Ambrosio (PA), Combe (CO), Perwanita (PER), Kalis qero (KQ), Qello virondos (QEV), Yana churos (YACH), Pitikiña (PI), Yana kusi (YAKU) y Solischa (SOL). Con este fin se prepararon geles con el almidón nativo, por dispersión y calentamiento. El poder de hinchamiento, el índice de absorción y la solubilidad mostraron estar correlacionados con el incremento de la temperatura. La menor sinéresis, a 4 $^{\circ}\text{C}$, la presentaron los almidones de las variedades CO y YACH, 3.8% y 4.6%; respectivamente. Los geles de almidón de todas las variedades mostraron un

comportamiento pseudoplástico ($n < 1$) y los valores de viscosidad aparente estuvieron en un rango de 5268 mPa s (PER) a 33080 mPa·s (CO). El almidón de la variedad SOL presentó geles con la menor dureza (2.18 N) y gomosidad (1.30 N) en comparación con los almidones de las otras variedades. Todos los geles de almidón nativo ensayados presentaron un comportamiento predominantemente elástico, pues el módulo de almacenamiento fue mayor que el módulo de pérdida ($G' > G''$).

Ramirez & Zarate (2012) Hicieron una caracterización de almidón nativo de clones de promisorios de papa criolla (*Solanum phureja*) para su aplicación en un derivado cárnico. Los clones 3, 8, 9,14 y 15 fueron los que presentaron mejor comportamiento, debido a que obtuvieron un alto rendimiento de extracción, un alto poder de hinchamiento e índice de absorción de agua, lo que está influenciando en un incremento de su volumen y una alta retención de agua, asimismo estos clones también presentaron una alta viscosidad, temperatura de gelatinización y una buena relación amilosa/amilopectina, lo que proporciona una buena estabilidad, consistencia y emulsión de sus geles.

Por su parte, el trabajo de grado de Manchola R. (2012), buscó completar la caracterización fisicoquímica y reológica de cinco almidones nativos extraídos de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *phureja*) cosechados en el Municipio de Granada del Departamento de Cundinamarca y evaluados por Otálora et al. (2011), los cuales presentaron mayor rendimiento de extracción del polisacárido. Para los almidones nativos se determinó una buena proporción de gránulos menores de 106 μ m; con color tendiente al blanco de coordenadas CIELAB promedio de $L^* 40,79$ $a^* 3,05$ $b^* -0,67$; densidad aparente promedio de 0,86 g/ml; pulpa promedio de 0,67%; fósforo promedio de de 0,048%; valor reductor alcalino expresado en números de ferricianuro promedio de 0,997; ácido láctico promedio de 0,60mg; pH promedio de 5,97. Con respecto al comportamiento reológico estos almidones tuvieron consistencia de pasta

expresada en viscosidad entre 1,812 a 22,131 cp y entre 15,511 a 196,816 cp a las temperaturas de 20°C y 70°C, respectivamente; presentaron promedios de temperatura máxima de viscosidad por 74,15°C, viscosidad máxima por 3.243UB, rompimiento por 1.304UB, período final de enfriamiento 3.311UB, y recuperación 1.429UB.

Garnica et al. (2010), se propusieron evaluar 17 clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L. subespecie *andigena*) del Programa de Mejoramiento Genético de Papa de La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), para determinar el comportamiento del almidón extraído según sus características funcionales. La experimentación inició con la extracción del almidón nativo de los clones de papa, a los cuales se les caracterizó por sus propiedades funcionales de: claridad – opacidad, temperatura de gelatinización, poder de hinchamiento, índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y viscosidad. En los clones evaluados, la transmitancia fue mayor del 40%, la temperatura de gelatinización osciló entre 61 a 65 °C, el IAA estuvo entre 6.5 y 15.04 g gel/g muestra, el ISA presentó valores de 0.74 a 5.29 g soluble/ g muestra, el Poder de Hinchamiento va de 6.58 hasta 15.45% y la viscosidad presentó variación entre los datos. Se analizaron los resultados con estadística descriptiva, Correlación de Pearson y análisis clúster. Los clones seleccionados por sus características funcionales para la extracción de almidón nativo corresponden al grupo 2 conformado por los clones: 23, 25, 27 y 31. Los cuales poseen alto contenido de almidón, alta viscosidad de la pasta, baja solubilidad, alta absorción de agua y alto poder de hinchamiento.

Con la finalidad de evaluar fuentes no convencionales, Araujo de Vizcarrondo et al. (2004) aislaron el almidón de bulbos de *Dioscorea bulbifera*. Se obtuvo un rendimiento de 28,48 g/100g en base seca. Se determinó su composición química, características físicas, fisicoquímicas y morfológicas, así como sus propiedades reológicas. El análisis químico reveló un contenido de amilosa de 29,37 por ciento. Los gránulos de almidón de acuerdo a las micrografías, presentaron

en su mayoría forma irregular, semejándose a una pirámide con vértices redondeados y en menor número son alargados con bordes redondeados. El almidón mostró una temperatura de gelatinización de 70,8°C y una máxima viscosidad a 88,6°C de 435 UB, así como una consistencia relativamente estable al proceso de cocción y baja tendencia a la retrogradación, lo que sugiere su posible uso en formulaciones de alimentos en donde se requiere el desarrollo de una rápida viscosidad y un gel de consistencia estable.

Hernández-Medina et al. (2008) evaluaron de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidones de tubérculos: makal (*Xanthosoma yucatanensis*), camote (*Ipomea batata*), yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y sagú (*Marantha arundinacea*). El tamaño promedio de los gránulos de almidón varió de 10,6 a 16,5 μm . La amilosa fue de 23,6, 19,6, 17,0 y 22,7%, para el makal, camote, yuca y sagú. Las temperaturas de gelatinización fueron de 78,4, 61,3, 65,2 y 74,9 °C, respectivamente. El almidón de yuca fue el que presentó mayor poder de hinchamiento y solubilidad. La viscosidad máxima fue para el almidón de yuca. El almidón de camote presentó la mayor claridad de gel (51,8%) y el de makal, la menor (10,9%). El almidón de yuca fue el más elástico (36,2%).

Los almidones de makal y de sagú pueden ser utilizados en productos que requieren altas temperaturas de procesamiento. Los almidones de camote y de yuca pueden ser incluidos en sistemas alimenticios como espesantes, estabilizantes y gelificantes en alimentos refrigerados y congelados.

En el trabajo de investigación realizado por Pacheco de Delahye & Techeira (2009), se modificó almidón de ñame (*Dioscorea alata*) mediante tratamientos alcalino y alcohólico-alcalino y se evaluó la composición química y algunas de sus propiedades funcionales, con el fin de sugerir su posible utilización en la elaboración de productos alimenticios. Los resultados obtenidos indicaron que la capacidad de absorción de agua (hinchamiento) y la solubilidad se

incrementaron con las modificaciones realizadas, al tiempo que la estabilidad al congelamiento-deshielo mejoró con cada uno de los tratamientos. Los almidones modificados experimentaron una menor tendencia a la retrogradación, medida como porcentaje de transmitancia, y la viscosidad de cada una de las suspensiones de almidones de ñame en estudio se mantuvo estable durante el período de calentamiento constante al cual fueron sometidas para la elaboración de las curvas amilográficas. Los almidones de ñame modificados podrían tener aplicación como espesantes para sopas y estabilizantes en postres congelados, especialmente los almidones granulares solubles en agua fría (AGSAF), por presentar una mayor capacidad de solubilizarse en agua a temperatura ambiente.

Aldana et al. (2005) hicieron una revisión de la utilidad del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón concluyendo que esta técnica permite identificar en un sistema compuesto de almidón y agua las transiciones y modificaciones de la estructura del gránulo de almidón, verificar la asociación de fragmentos de amilosa y amilopectina (retrogradación) e identificar los cambios en sus características térmicas como consecuencia de tratamientos combinados de calor y humedad. Su revisión presenta además conceptos sobre el DSC, la estructura y las transiciones de fase del gránulo de almidón. Adicionalmente, recopilaron investigaciones donde se utilizó esta técnica para la caracterización de distintos almidones.

4. Metodología.

4.1 Localización

Esta investigación se llevó a cabo en el 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.

4.2 Material experimental.

El material vegetal utilizado consistió en 10 genotipos de papa nativa (*Solanum tuberosum* Grupo *phureja*) cosechados la granja experimental Botana de la Universidad de Nariño, la cual está ubicada aproximadamente a 9 Km de la ciudad de Pasto, en el corregimiento de Catambuco, a 2820 msnm, una temperatura promedio de 12°C y precipitación anual de 967 mm. Dichos genotipos, hacen parte del proyecto de mejoramiento tecnológico y productivo del sistema papa en el departamento de Nariño. Estos diez genotipos iniciales fueron: Chaucha Pura, Ñoña, Ratona Morada, Cachona, Curikinga, Criolla nn, Guaneña, Colombia, Latina y Jardinera.

4.3 Determinación de los genotipos de papa criolla (*solanum phureja*) nativa para la caracterización del almidón, teniendo en cuenta como criterio de selección su rendimiento

Inicialmente se tomaron los 10 genotipos de papa nativa para determinar sus rendimientos promedio de extracción de almidón. Los rendimientos fueron utilizados como criterio de selección, y mediante un tratamiento estadístico de comparación se determinó los 3 genotipos viables para el presente trabajo.

4.3.1 Extracción del almidón nativo.

La extracción del almidón nativo se basó en los métodos reportados por Singh & Singh (2001) y Gorosquera et al. (2004). Los diferentes genotipos de papa nativa (*S. phureja*) fueron sometidos a un proceso de limpieza y desinfección con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) a 50

ppm, luego fueron pelados mediante una lavadora y peladora de tubérculos marca COMEK (Figura 8), siendo utilizados aproximadamente 100 g de pulpa de papa por un minuto para cada extracción. Posterior a ello se cortaron cubos y se colocaron en un beaker con una solución antioxidante de bisulfito de sodio (NaHSO_3) al 1 % P/V, debido a que al contacto con el oxígeno se produce oxidación de la pulpa (pardeamiento). Para la molienda húmeda fue preparada una solución con bisulfito de sodio al 5% y se utilizó una licuadora industrial marca JAVAR (Figura 9) a velocidad máxima durante 2 min.

El licuado obtenido se filtró mediante una muselina (Figura 10) que permitió el paso de agua y almidón (lechada) y retuvo el afrecho (fibra e impurezas), el cual se lavó varias veces con agua destilada hasta que el líquido efluente salió claro. El filtrado se dejó reposar entre 7 y 10 horas (Figura 11) y luego, para recuperar el almidón sedimentado, se retiró el agua cuidadosamente. Esta operación se realizó por triplicado para cada variedad y la pasta final se secó en una unidad de secado directo y humidificación marca FIC con recirculación de aire a 40-45 °C (Figura 12). Una vez seleccionados los 3 genotipos con los que se desarrolló esta investigación, se repitió el proceso de extracción con cantidades aproximadas a 5 kg de papa de cada variedad.



Figura 8. Peladora de tubérculos marca COMEK.

Fuente. Este estudio



Figura 9. Licuadora industrial marca JAVAR.

Fuente. Este estudio



Figura 10. Extracción de almidón por vía húmeda, filtración.

Fuente. Este estudio

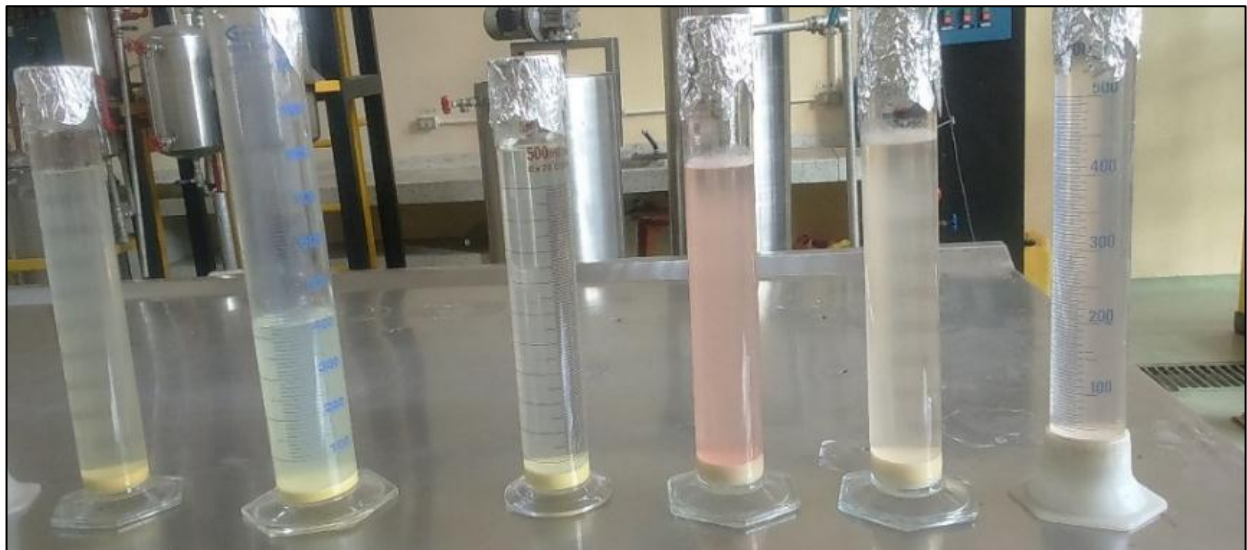


Figura 11. Precipitados de las diez variedades de papa procesadas.

Fuente. Este estudio



Figura 12. Secado de almidón en Unidad de secado y humidificación FIC.

Fuente. Este estudio

4.3.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño unifactorial categórico completamente aleatorizado con diez (10) niveles que se llevó a cabo por triplicado, con el fin de comparar los rendimientos en almidón obtenidos a partir de los diferentes genotipos de papa nativa (*Solanum phureja*). La matriz experimental utilizada puede encontrarse en el Anexo 1 al final del documento.

4.4 Determinación las propiedades fisicoquímicas de los almidones

4.4.1 Contenido de humedad.

El contenido de humedad se determinó a través de una balanza de humedad marca KERN DBS 160 (Figura 13), utilizando aproximadamente 1 g de muestra para cada análisis.



Figura 13. Determinación de Humedad. Equipo KERN DBS.

Fuente. Este estudio

4.4.2 Granulometría

Se realizó de acuerdo al protocolo recomendado por Manchola R. (2012), tomando 100 g de almidón de cada genotipo, posteriormente cada muestra se transfirió al tamiz superior del equipo tamizador de marca Pinzuar (Figura 14) y se mantuvo en agitación por 5 minutos a 60 Hz. Los tamices utilizados fueron de referencia 100, 270 325 y 400. Finalmente se pesaron las fracciones de almidón retenidas en cada tamiz (Figura 15).



Figura 14. Tamizadora Pinzuar.

Fuente. Este estudio



Figura 15. Tamiz con almidón retenido.

Fuente. Este estudio

Por otra parte el modelado granulométrico se realizó de acuerdo a la metodología planteada por Tobón, Cerón, & Garcés (2015), donde los datos obtenidos fueron correlacionados mediante la función de distribución de tamaños de Rosin Rammler (R-R) (Ecuación 1). Los valores de apertura del tamiz (diámetro) y los de porcentaje acumulado se aplicaron al anterior modelo de manera linealizada, para calcular el coeficiente de uniformidad (n), la constante (b) y el coeficiente de correlación de la regresión lineal (r2) (Ecuación 2).

Ecuación 1. Función de Rosin-Rammler (R-R):

$$F(x) = 100 \left\{ 1 - \exp \left[- \left[\frac{x}{X_r} \right]^m \right] \right\}$$

Dónde:

F(x)= porcentaje acumulado pasante.

Xr= módulo de tamaño.

m= es el módulo de distribución.

Xr, m, son constantes.

Ecuación 2. Linealización:

$$\ln \left(\ln \left(\frac{100}{\%R} \right) \right) = n \ln(D) + \ln(b)$$

Dónde: D= diámetro de partícula (mm), b es una constante y n es el coeficiente de uniformidad.

Fuente: Tobón et al. (2015).

Para Tobón et al. (2015) la mayoría de estudios de granulometría se enfocan en analizar la

distribución de partículas mediante un ensayo granulométrico a través de la realización de una gráfica que muestra la relación entre el diámetro de partícula y el % de pasante acumulada, para lo cual se suele graficar en escala logarítmica el eje de las x, que corresponde al diámetro de partículas, y en el eje de las y, en escala cartesiana, el porcentaje pasante; con base en esta gráfica, el investigador, por interpolación, encuentra el diámetro promedio y el diámetro de los diferentes percentiles según su interés; sin embargo, este método presenta algunas imprecisiones, ya que depende del factor humano. Para compensar esta falta de precisión se suelen realizar los análisis granulométricos mediante funciones de distribución de partículas como la de Rosin Rammler (R-R), que pueden ser generalizadas y cuantificadas por expresiones matemáticas mucho más precisas en la representación de la distribución de tamaño de partículas.

4.4.3 Índice de Color.

Para el cálculo del índice del color se empleó la metodología descrita por García Taín, García Pereira, Hernández Gómez, & Pérez Padrón (2011) mediante el uso de las coordenadas L* a* y b* y la Ecuación 3. En el desarrollo de este trabajo se utilizó un espectrofotómetro marca Konica minolta, CM-5 (Figura 16).

Ecuación 3. Índice de color.

$$IC = \frac{1000xa}{Lxb}$$



Figura 16. Espectrofotómetro CM5-Konica Minolta.

Fuente. Este estudio

4.4.4 Densidad aparente.

Se realizó mediante el método propuesto por la FAO (1999). Primero se pesó una probeta graduada de 250 mL vacía, seguidamente se adicionó la muestra a la probeta hasta que el volumen fue libremente completado (ver Anexo 2). Cabe destacar que las muestras de almidón fueron analizadas bajo las mismas condiciones de humedad.

4.4.5 Acidez titulable y pH.

Se realizó mediante el método recomendado por Manchola R. (2012) (ver Anexo 3). Se utilizó un medidor de pH Jenway modelo 3510 (Figura 17), debidamente calibrado. . Se prepararon dispersiones de almidón con agua destilada al 20% p/v verificando que el agua utilizada en todas las diluciones tubiese un pH estable. Posteriormente se tomó una alícuota y se midió. Para la acidez, se tomó la mitad de la dilución realizada y se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) al

0.1N utilizando Fenolftaleína como indicador.

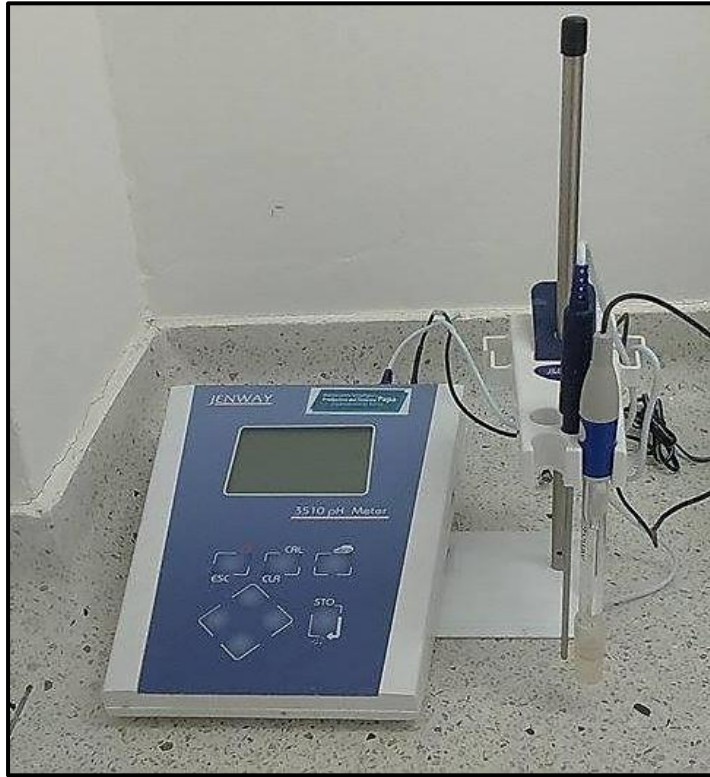


Figura 17. Medidor de pH Jenway modelo 3510.

Fuente. Este estudio

4.4.6 Contenido de amilosa.

El contenido de amilosa del almidón se determinó de acuerdo con la metodología ISO 6647-2 (Organización Internacional de Normalización -ISO, 2011), utilizando el método de colorimetría de yodo estandarizado. La amilosa de papa se adquirió de la compañía biotecnológica Sigma Aldrich (St Louis, MI USA) y se usó como patrón para generar la curva de calibración. La absorbancia de la mezcla de almidón y yodo se leyó a 620 nm.

4.4.7 Diseño experimental.

Se utilizó un diseño unifactorial categórico completamente aleatorizado con tres (3) niveles que se llevaron a cabo por triplicado. Así se logró comparar el efecto de los almidones obtenidos a partir de los tres (3) genotipos de papa nativa (*Solanum phureja*) sobre sus propiedades

fisicoquímicas (contenido de amilosa y amilopectina, granulometría, colorimetría, densidad aparente, acidez titulable y pH). La matriz experimental diseñada para este fin se encuentra en el Anexo 4.

4.5 Determinación de propiedades funcionales de los almidones

4.5.1 Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA) y Poder de hinchamiento (PH)

Se empleó la metodología descrita por Martínez, Málaga, Betalleluz, Ibarz, & Velezmoro (2015) junto con la metodología recomendada por la FAO (1999) para el análisis fisicoquímico del almidón de yuca (ver Anexo 5). Se prepararon suspensiones de almidón a una concentración del 4% p/v y se calentaron a 60, 70, 80 y 90 °C en el equipo de baño María Memert modelo WNB7 (ver Figura 18). Después de ser enfriadas hasta 25 °C, las muestras se centrifugaron a 4900 rpm (centrifuga Velocity Dinámica) por 30 min (ver Figura 19). Luego, se separó el sobrenadante para cuantificar el porcentaje de solubles y de gel formado (Figura 20). Los sobrenadantes se colocaron en cápsulas y fueron llevados a un horno convector (PIRON PF6004CTD) (Figura 21), a 70 °C por 12 h. Los valores se calcularon de acuerdo a las siguientes formulas:

Ecuación 4. Índice de absorción de agua (IAA)

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

Ecuación 5. Índice de solubilidad en agua (ISA)

$$ISA = \frac{\text{Peso de solubles (g)} \times V. \text{ del sobrenadante (mL)} \times 10}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

Ecuación 6. Poder de hinchamiento (PH)

$$PH = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g) - Peso de solubles (g)}} \times 100$$

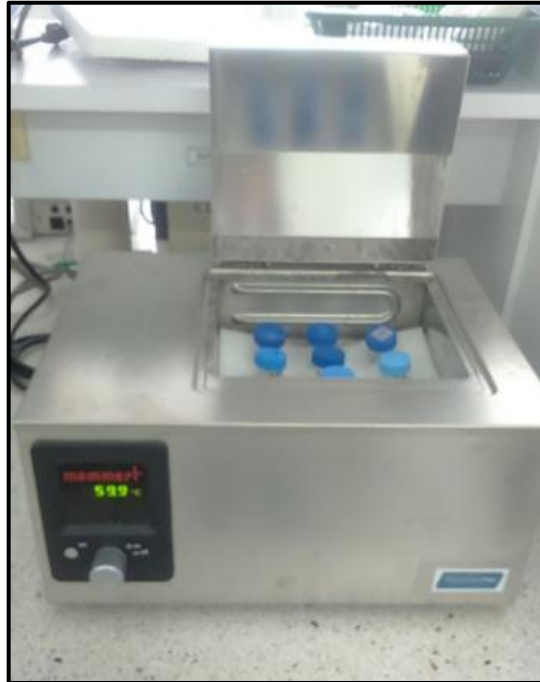


Figura 18. Tubos Falcón con muestras de almidón en baño María.

Fuente. Este estudio



Figura 19. Centrifuga con muestras de almidón.

Fuente. Este estudio



Figura 20. Gel formado por el almidón.

Fuente. Este estudio



Figura 21. Horno Convector PIRON PF6004CTD.

Fuente. Este estudio

4.5.2 Sinéresis.

Se empleó la metodología de Kaur, Singh, Ezekiel, & Singh (2007) . Se prepararon dispersiones de almidón al 4% p/v con agua destilada y se calentaron a 70°C por 30 min en un equipo de baño maría (Memert modelo WNB7); luego se enfriaron rápidamente hasta 25 °C empleando un baño con hielo. Las muestras se almacenaron por 7 días a 4°C (refrigeración). La sinéresis presentada se midió los días 1, 2, 5, 6 y 7 y la cantidad de agua liberada (expresada como porcentaje de masa de la muestra) se midió después de centrifugar las muestras (Centrífuga Velocity Dinamica) a 3000 rpm por 15 min.

4.5.3 Análisis de perfil amilográfico.

Se determinaron diversos parámetros como la temperatura de viscosidad máxima, temperatura de gelatinización (Tg), viscosidad máxima de la muestra (Vm), y periodos de rompimiento y recuperación de la viscosidad de disoluciones de almidón de las variedades estudiadas usando un reómetro MCR 302 (Smart Starch Analyzer, Anton Paar, Austria) (Figura

22). Los métodos aprobados de la American Association of cereal chemist (St. Paul, 2000), se utilizó para determinar los perfiles de viscosidad de las dispersiones de almidón. Se prepararon suspensiones de almidón (2 g) para determinar los perfiles de viscosidad de los almidones usando un ensayo estándar de 23 min, que implicaba: equilibrio inicial a 50°C durante 1 min, calentamiento de 50°C a 95°C durante 7.5 minutos; se mantuvieron a 95 ° C durante 5 min; Enfriamiento de 95 ° C a 50 ° C durante 7.5 min, y finalmente se mantuvieron a 50 ° C durante 2 min.



Figura 22. Reómetro MCR 302

Fuente: imagen tomada de <http://www.anton-paar.com>

4.5.4 Fuerza máxima de fractura de gel formado (Dureza).

Se realizó en base a la metodología planteada por Casas-Alencáster & Pardo-García (2005). Los geles formados mediante suspensiones de almidón en agua de 4, 8 y 12% se sometieron a un ciclo de punción mediante un cilindro acrílico de 10 mm de diámetro, a una velocidad de 10

mm/min (1.67 cm/s) y una precarga de 0.1 N. Los recipientes utilizados para depositar los geles fueron portamuestras plásticas de 35 mm de altura y 47 mm de diámetro.

El equipo utilizado fue un Texturómetro TX1 LLOYD IS1 con celda de carga de 250 Newton (N) (Figura 23). Los datos se capturaron gracias al software NEXYGEN Plus.

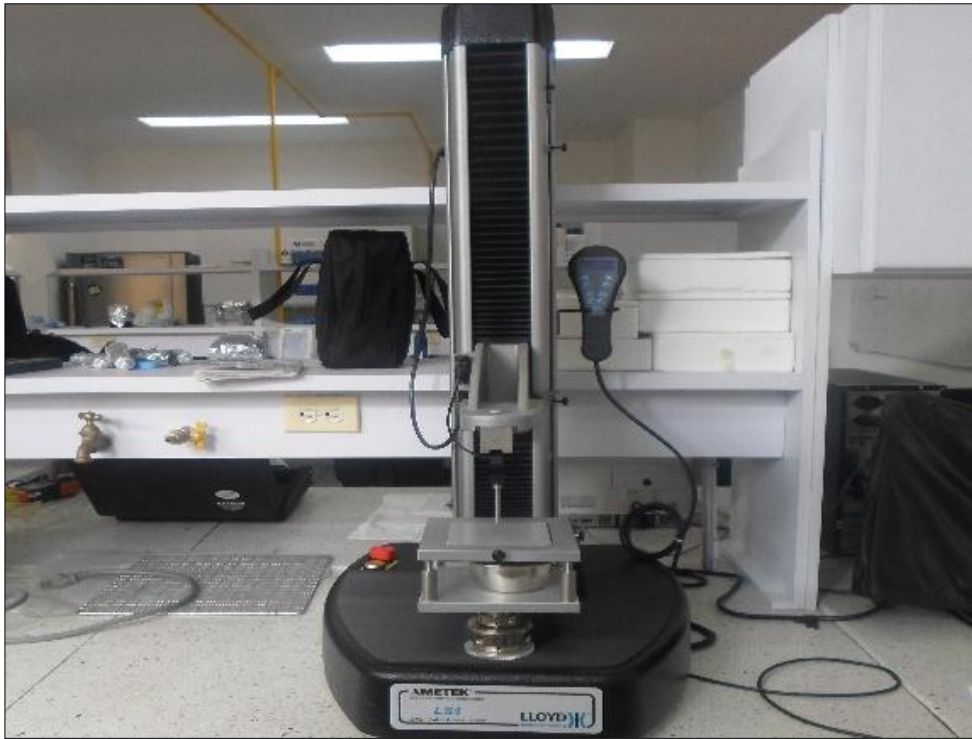


Figura 23. Texturómetro TX1 LLOYD IS1.

Fuente. Este estudio

4.5.5 Análisis de variables térmicas mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Las propiedades térmicas se analizaron empleando el equipo de Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC) marca TA Instruments, modelo Q20, propiedad del Laboratorio de Reología y Empaques de la Universidad del Cauca, de acuerdo con el método de Oluwaseyi et al. (2013). Se pesaron con precisión 2 mg de almidón en un recipiente de aluminio y se añadió agua (proporción de 1:3 p/p, base seca). Los recipientes fueron sellados herméticamente y siguieron un periodo de equilibrio térmico durante 2 horas antes del análisis. El equipo DSC fue Calibrado

con Indio y utilizando un recipiente vacío como referencia. Las muestras se calentaron gradualmente $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ siguiendo una rampa de temperatura desde 20°C a 120°C .

A través de los termogramas (DSC) obtenidos se determinó la temperatura inicial de gelatinización (T_o , onset gelatinization temperature), temperatura de gelatinización (T_p , peak temperature), temperatura final de gelatinización o de fusión (T_c , conclusion temperature) y la entalpia de gelatinización (ΔH_{gel}). El equipo empleado en esta prueba es el Calorímetro de Barrido Diferencial (DSC) marca TA Instruments, modelo Q20 (Figura 24), propiedad del Laboratorio de Reología y Empaques de la Universidad del Cauca).



Figura 24. Calorímetro de Barrido Diferencial (DSC) TA Instruments, modelo Q20.

Fuente: www.tainstruments.com

4.5.6 Diseño experimental.

Se utilizó un diseño unifactorial categórico completamente aleatorizado con tres (3) niveles y se llevó a cabo por triplicado, con el fin de comparar el efecto de los almidones obtenidos a partir de los tres (3) genotipos de papa nativa (*Solanum phureja*) sobre sus propiedades funcionales (poder de hinchamiento (PH), índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua

(IIA), sinéresis, análisis de perfil amilográfico, fuerza máxima de fractura del gel formado y análisis de variables térmicas por (DSC). La matriz experimental correspondiente, dividida en tres partes, puede encontrarse en el Anexo 6.

4.6 Análisis estadístico

El análisis de datos de los tres diseños experimentales se realizó con el programa Statgraphics © Plus Centurión XVII, mediante el cual se hizo el análisis de varianza y la prueba de comparación mediante la LSD de Fisher a un 5% de nivel de significancia a través de la Prueba de Múltiples Rangos. De igual manera se realizó un resumen estadístico para cada variable donde se determinó el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de todos los grupos de datos.

5. Resultados

5.1 Rendimiento de almidón

Las variedades Jardinera, Latina y Colombia mostraron los mejores resultados, con rendimientos del 18.70%, 16.38%, 15.23%, respectivamente. Por otra parte las variedades Chaucha Pura, Ñoña, Ratona Morada, Cachona, Curikinga, Criolla NN y Guaneña fueron las variedades con el menor rendimiento. Mediante el análisis de varianza se determinó que las tres variedades con el mejor rendimiento del almidón presentaron diferencia estadísticamente significativa con respecto a las demás variedades (p -valor <0.05), tal como se muestra en el diagrama de medias e intervalos al 95% de la LSD de Fisher para la variable rendimiento (Figura 25) y el resumen estadístico para la variable rendimiento en la mediante la Tabla 6.

Por lo tanto, las variedades Jardinera, Latina y Colombia fueron las seleccionadas para la determinación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de su almidón, y se detallan en la Tabla 7. El rendimiento es un factor decisivo porque determina la capacidad de elaboración de un producto y en la economía de producción (Garnica et al., 2010), por tanto es un parámetro base a la hora de evaluar a la viabilidad de procesamiento industrial de nuevas variedades de papa.

Ya que los rendimientos se evaluaron en base humedad no fue posible saber cómo influyó el contenido de humedad de cada variedad de papa en los resultados, sin embargo los tres genotipos seleccionados mostraron una diferencia estadística bastante significativa con respecto a las otras, llegando en algunos casos a duplicar su contenido de almidón. Partiendo de una humedad del 75.5% para papa criolla (*Solanum phureja*) (FEDEPAPA, 2009), las tres variedades seleccionadas tendrían un contenido de almidón en base seca de entre 62.16% y 76.33%, el cual es muy bueno si se compara con los porcentajes en distintas fuentes botánicas reportados en la Tabla 4, en la cual se reporta un rendimiento promedio para papa común de 69.1% y el mayor rendimiento de almidón al Sorgo, correspondiente a 72.3%.

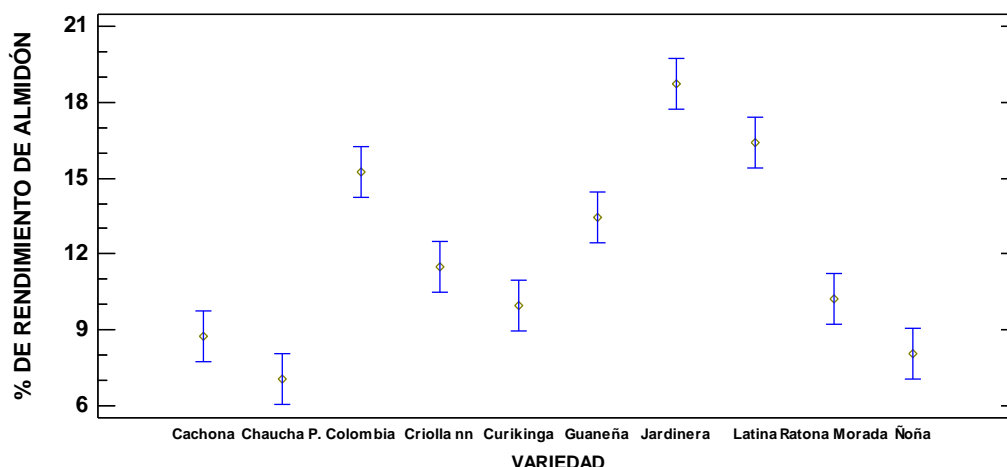


Figura 25. Diagrama de medias e intervalos al 95% de la LSD de Fisher para la variable rendimiento.

Fuente. Este estudio

Tabla 6.

Medias e intervalos al 95% de la LSD de Fisher para la variable rendimiento y resumen estadístico del rendimiento de almidón




VARIEDAD	Recuento	Promedio Base húmeda (%)*		Coefficiente de Variación
Chaucha P.	3	7.04768±0.946	a	13.43%
Ñoña	3	8.07905±0.923	a	11.42%
Cachona	3	8.73147±0.883	a	10.11%
			b	
Curikinga	3	9.99082±0.865	b	8.65%
			c	
Ratona Morada	3	10.2516±0.991	b	9.66%
			c	
Criolla nn	3	11.4763±0.695	c	6.05%
Guaneña	3	13.4699±1.295	d	9.62%
Colombia	3	15.2706 ±1.20	e	7.863%
Latina	3	16.3817±1.140	e	6.96%
Jardinera	3	18.706 ±1.302	f	6.96%

* No existe diferencia estadísticamente significativa (p-valor>0,05) entre aquellos valores de rendimiento de almidón (*Media±D.E*), que comparten la misma letra del índice en una columna de la tabla.

Fuente. Este estudio

Tabla 7.

Variedades de papa seleccionadas para la caracterización fisicoquímica y funcional de su almidón.

VARIEDAD JARDINERA	VARIEDAD LATINA	VARIEDAD COLOMBIA
		

Fuente. Este estudio

5.2 Caracterización fisicoquímica del almidón

5.2.1 Contenido de humedad.

Los resultados indicaron que no existe diferencia estadísticamente significativa en el contenido de humedad para el almidón de las tres variedades ($p\text{-valor} > 0.05$), como se puede evidenciar en el diagrama de la Figura 26 y el resumen estadístico de la Tabla 8. El contenido de humedad para las tres variedades estuvo dentro del rango del 10-13%, el cual, es recomendado por la FAO (1999). Este parámetro depende más de la operación de secado que de la variedad de procedencia del almidón, por lo tanto es consecuente que las tres muestras no presenten diferencias significativas, ya que se les aplicó la misma metodología de secado.

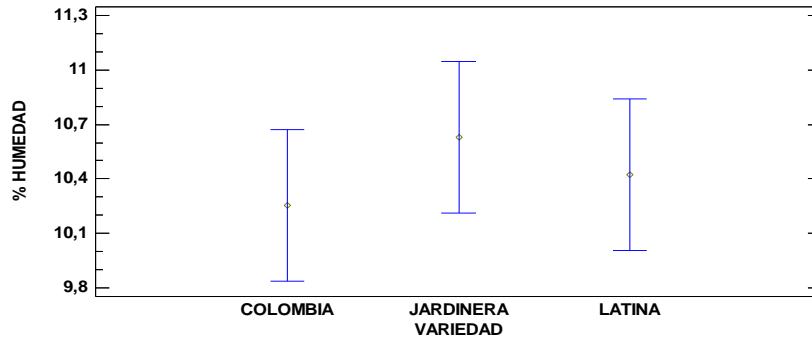


Figura 26. Diagrama de medias e intervalos al 95% de la LSD de Fisher para la variable contenido de humedad.

Fuente. Este estudio

Tabla 8.

Medias e intervalos al 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico del contenido de humedad del almidón.

VARIEDAD	Recuento	Contenido de humedad (%) *		Coefficiente de Variación
Colombia	3	10,2533±0.6146	a	6.64%
Jardinera	3	10,6300±0.7773	a	9.36%
Latina	3	10,4233±0.8619	a	9.84%

*No existe diferencia estadísticamente significativa (p-valor>0,05) entre aquellos valores de contenido de humedad (*Media±D.E*), que comparten la misma letra del índice en una columna de la tabla.

Fuente. Este estudio

5.2.2 Granulometría.

De acuerdo con la Tabla 9, se determinó que para el almidón de las tres variedades, el mayor porcentaje de retenidos se encontró en el tamiz número 325, con un diámetro de abertura de 0.045mm, mientras que el menor porcentaje de retenidos correspondió a el tamiz número 100, con un diámetro de apertura de 0.425mm, con porcentajes de 0.1% hasta 1%, lo cual, coincide con las especificaciones establecidos por la FAO (1999) para los requisitos fisicoquímicos del

almidón, donde establece que el 99 por ciento de los gránulos de almidón deben pasar a través de un tamiz de malla 100 o el 95 por ciento pasar a través de un tamiz de malla 140 (0.106 μm).

El almidón que más se ajustó al modelo de Rosin Rammler (R-R) correspondió al de la variedad Latina, con un coeficiente de correlación de (r^2) del 0.9968, un coeficiente de uniformidad (n) de 15.061 y una constante (b) de 44.317, tal como se puede ver en la figura de modelo de Rosin Rammler (R-R) variedad Latina (Figura 27). Por otra parte el ajuste del almidón de la variedad Jardinera y Colombia tienen un coeficiente de correlación de (r^2) del 0.9577, 0.9503, un coeficiente de uniformidad (n) de 19.714, 18.078, y una constante (b) de 58.104, 53.295, respectivamente, (Figuras 28 y 29).

El modelo Rosin-Rammler (R-R) compara o relaciona los valores del porcentaje acumulado pasante $F(x_i)$ con el tamaño de partícula o abertura de malla de la serie empleada. Por su parte, el conjunto de estudios de granulometría es muy significativo en los procesos industriales para el diseño de equipos, mejoramiento procesos de trituración y para optimizar el consumo energético (Tobón et al., 2015). Lo anterior demuestra la importancia de estos resultados, pues se logró encontrar un modelo matemático que representa la distribución del tamaño de partículas de almidón de las variedades evaluadas (Rosin-Rammler) con valores de r^2 mayores a 0.95, por lo que de implementarse un proceso de extracción a nivel industrial en un futuro, permitirán desarrollar operaciones unitarias más eficientes.

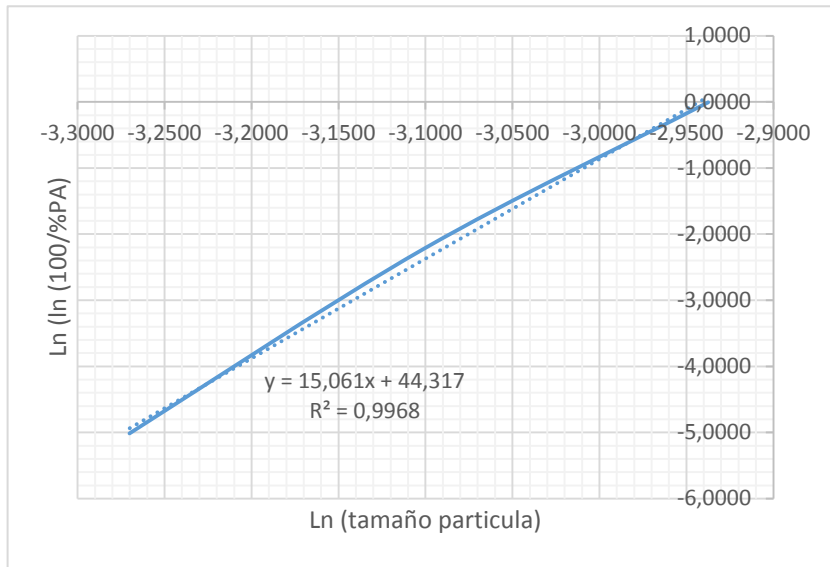


Figura 27. Modelo de Rosin Rammler (R-R) del almidón de la variedad Jardinera.

Fuente. Este estudio

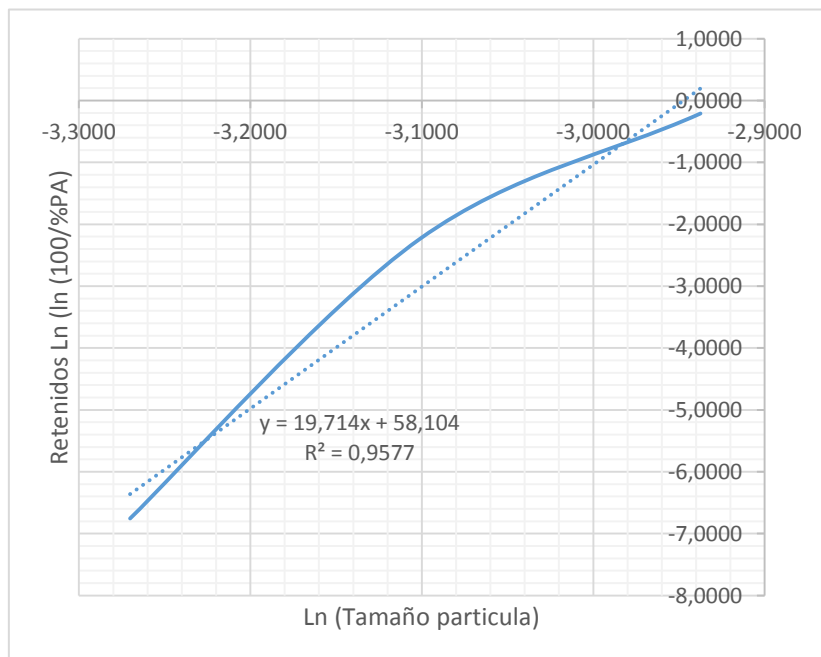


Figura 28. Modelo de Rosin Rammler (R-R) del almidón de la variedad Latina.

Fuente. Este estudio

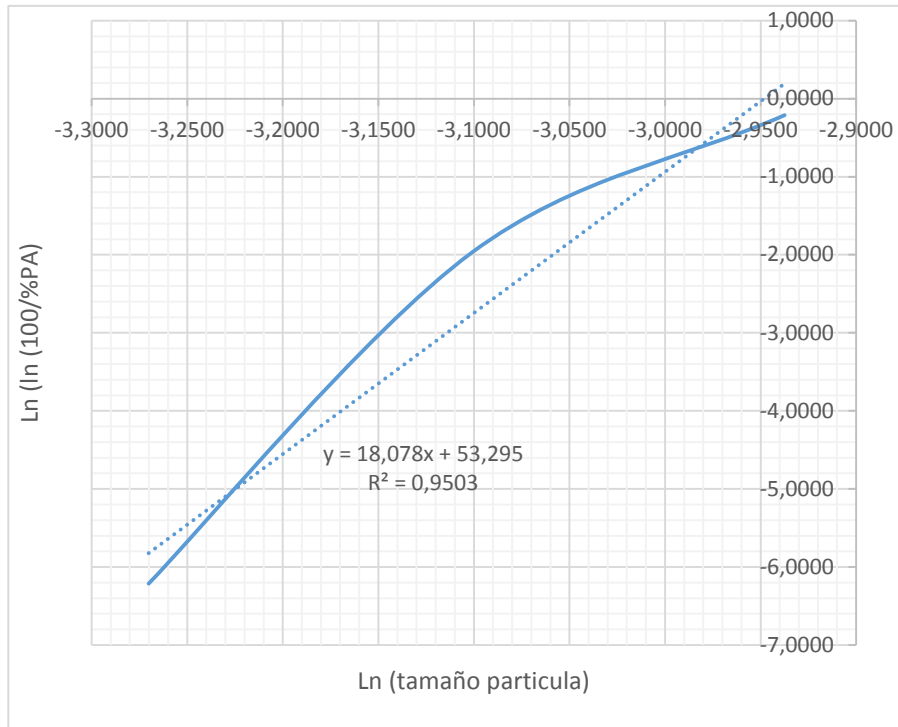


Figura 29. Modelo de Rosin Rammler (R-R) del almidón de la variedad Colombia.

Fuente. Este estudio

Tabla 9.

Resultados de granulometría y parámetros de modelado de Rosin Rammler (R-R) para el almidón.

ALMIDÓN VARIEDAD LATINA					
Numero tamiz	Diámetro Dp (mm)	Masa retenida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado
100	0.425	1.008	1.0081512	1.00815122	98.9918488
270	0.053	36	36.005401	37.01	62.99
325	0.045	52.725	52.73291	89.75	10.25
400	0.038	9.59	9.5914387	99.34	0.66
Fondo		0.662	0.6620993	100.00	0.00
MASA TOTAL		99.985	100		
ALMIDÓN VARIEDAD JARDINERA					
Numero tamiz	Diámetro Dp (mm)	Masa retenida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado
100	0.425	0.8	0.8025763	0.80257627	99.1974237
270	0.053	43.501	43.641088	44.44	55.56
325	0.045	45.267	45.412775	89.86	10.14
400	0.038	9.995	10.027187	99.88	0.12
Fondo		0.116	0.1163736	100	0
MASA TOTAL		99.679	100		
ALMIDÓN VARIEDAD COLOMBIA					
Numero tamiz	Diámetro Dp (mm)	Masa retenida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado
100	0.425	0.098	0.1005685	0.10056852	99.90
270	0.053	43.279	44.413316	44.51	55.49
325	0.045	41.405	42.4902	87.00	13.00
400	0.038	12.469	12.795805	99.80	0.20
Fondo		0.195	0.2001108	100.00	0.00
MASA TOTAL		97.446	100		

Fuente. Este estudio

5.2.3 Colorimetría

En cuanto a la evaluación del índice de color (IC), se determinó que existe diferencia estadísticamente significativa entre los IC del almidón de las tres variedades (p -valor <0.05), tal como lo muestra la Figura 30 y el resumen estadístico en la Tabla 10. Los resultados de IC oscilaron entre -1.36 a -0.10 para las tres variedades, de tal manera, que estos datos estuvieron dentro del rango que representa el amarillo verdoso, que abarcan IC de -2 a 2 (Vignoni et al., 2006), tal como se puede evidenciar en la Tabla 11. Sin embargo, se presentaron valores bastante cercanos a 0, por lo cual los matices amarillo-verdosos son sensorialmente inapreciables y el color de los almidones fue cercano al blanco como se puede observar en la Tabla 12 que contiene fotografías de las muestras de almidón, esta tonalidad blanca es un indicador de buena calidad en los almidones y una característica deseable, pues así su uso industrial como aditivo no verá afectado el aspecto del producto terminado. Además, en base a estos gráficos, se encontró que las tres variedades presentaron alta luminancia o brillo (L^*) con valores mayores a 90 y cercanos a 100 que es límite máximo de este parámetro. Este último resultado contrasta con lo reportado por Manchola R. (2012), quien al evaluar la luminosidad de almidones provenientes de cinco variedades nativas de papa obtuvo valores promedio de L^* de 40.79. Esto puede deberse a que la metodología de extracción seguida por la autora no incluyó un agente antioxidante para evitar el pardeamiento del almidón. Sin embargo, sus resultados reportados para los parámetros a^* y b^* (responsables de los tonos de color) si fueron bastante similares a los obtenidos en esta investigación.

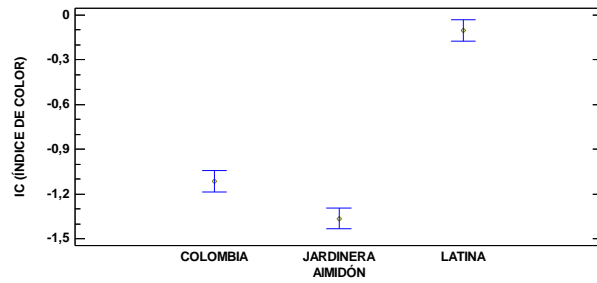


Figura 30. Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable índice de color (IC).

Fuente. Este estudio

Tabla 10.

Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico del índice de color (IC) del almidón.

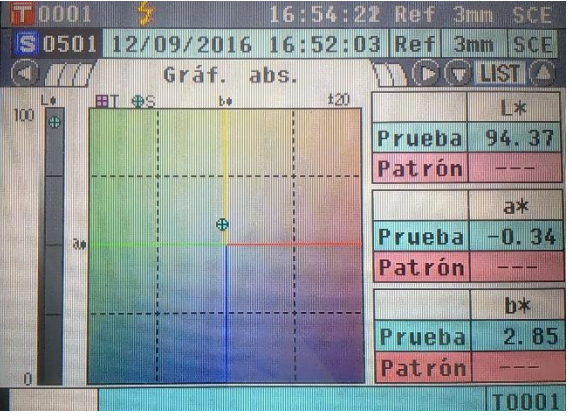
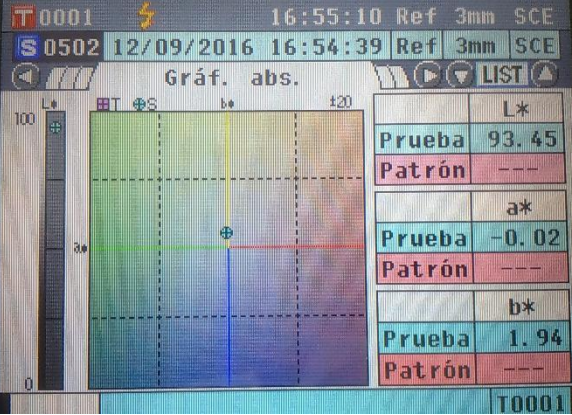
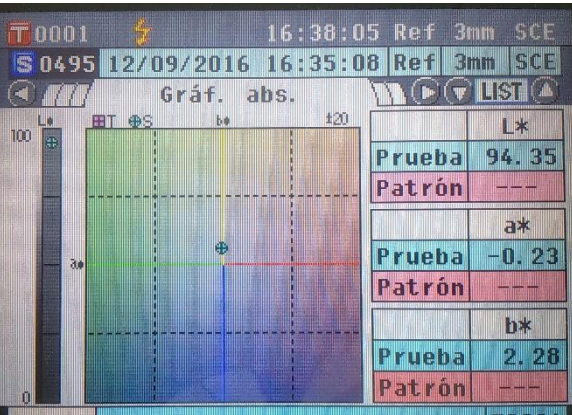
VARIEDAD	Recuento	IC *		Coefficiente de Variación
Colombia	3	-1.11388±0.0530	a	4.75%
Jardinera	3	-1.36472±0.1098	b	8.04%
Latina	3	-0.103483±0.0059	c	5.72%

*No existe diferencia estadísticamente significativa ($p\text{-valor} > 0.05$) entre aquellos valores de IC ($Media \pm D.E$), que comparten la misma letra del índice en una columna de la tabla.

Fuente. Este estudio

Tabla 11.




Espacio de color del almidón de las diferentes variedades

ALMIDÓN	ESPACIO DE COLOR									
<p>Variedad Jardinera</p>	 <p>T0001 16:54:22 Ref 3mm SCE S 0501 12/09/2016 16:52:03 Ref 3mm SCE Gráf. abs. LIST</p> <table border="1"> <tr><td>L*</td><td>Prueba 94.37</td><td>Patrón ---</td></tr> <tr><td>a*</td><td>Prueba -0.34</td><td>Patrón ---</td></tr> <tr><td>b*</td><td>Prueba 2.85</td><td>Patrón ---</td></tr> </table> <p>T0001</p>	L*	Prueba 94.37	Patrón ---	a*	Prueba -0.34	Patrón ---	b*	Prueba 2.85	Patrón ---
L*	Prueba 94.37	Patrón ---								
a*	Prueba -0.34	Patrón ---								
b*	Prueba 2.85	Patrón ---								
<p>Variedad Latina</p>	 <p>T0001 16:55:10 Ref 3mm SCE S 0502 12/09/2016 16:54:39 Ref 3mm SCE Gráf. abs. LIST</p> <table border="1"> <tr><td>L*</td><td>Prueba 93.45</td><td>Patrón ---</td></tr> <tr><td>a*</td><td>Prueba -0.02</td><td>Patrón ---</td></tr> <tr><td>b*</td><td>Prueba 1.94</td><td>Patrón ---</td></tr> </table> <p>T0001</p>	L*	Prueba 93.45	Patrón ---	a*	Prueba -0.02	Patrón ---	b*	Prueba 1.94	Patrón ---
L*	Prueba 93.45	Patrón ---								
a*	Prueba -0.02	Patrón ---								
b*	Prueba 1.94	Patrón ---								
<p>Variedad Colombia</p>	 <p>T0001 16:38:05 Ref 3mm SCE S 0495 12/09/2016 16:35:08 Ref 3mm SCE Gráf. abs. LIST</p> <table border="1"> <tr><td>L*</td><td>Prueba 94.35</td><td>Patrón ---</td></tr> <tr><td>a*</td><td>Prueba -0.23</td><td>Patrón ---</td></tr> <tr><td>b*</td><td>Prueba 2.28</td><td>Patrón ---</td></tr> </table> <p>T0001</p>	L*	Prueba 94.35	Patrón ---	a*	Prueba -0.23	Patrón ---	b*	Prueba 2.28	Patrón ---
L*	Prueba 94.35	Patrón ---								
a*	Prueba -0.23	Patrón ---								
b*	Prueba 2.28	Patrón ---								

Fuente. Este estudio

Tabla 12.

Imágenes fotográficas del almidón de las diferentes variedades.

VARIEDAD	ALMIDÓN
Jardinera	
Latina	
Variedad Colombia	

Fuente. Este estudio

5.2.4 Densidad aparente.

Para este parámetro se determinó que no existe diferencia estadísticamente significativa (p -valor >0.05) (ver Figura 31 y Tabla 13) y que el valor promedio de la densidad aparente fue de 0.88 g/mL para el almidón de las tres variedades. Los resultados son semejantes a los obtenidos por Manchola R. (2012), en la determinación de la densidad aparente de cinco almidones nativos, con un valor promedio de 0.86 g/mL. Además los almidones de las variedades Jardinera, Latina y Colombia, de acuerdo con su densidad, se encontraron dentro del límite que los clasifica como almidones que presentan porosidad interparticular, ya que contuvieron gránulos sueltos con espacios entre ellos. Al presentar porosidad el almidón tiende a mejorar su dispersión en solución para las aplicaciones como aglutinante y formadores de película. Por otra parte, cuando los valores de densidad aparente se encuentran por encima de 1g/mL, los gránulos del almidón tienen a disminuir su porosidad, provocando que la disolución de estos en medio líquido sea más difícil, tal como lo indica Araujo de Vizcarrondo, Rincón, & Padilla (2004).

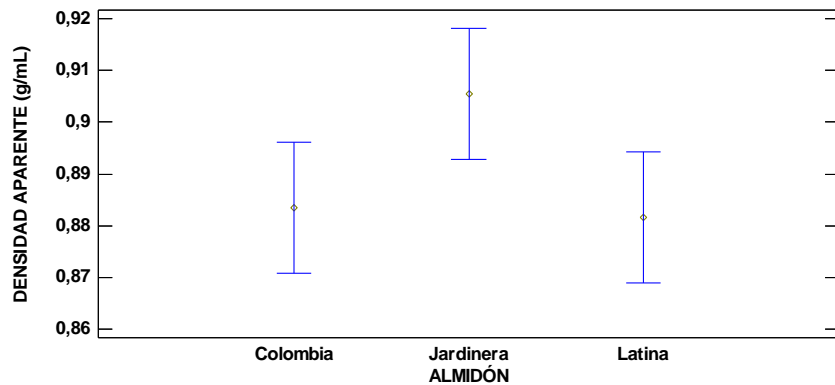


Figura 31. Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable Densidad Aparente.

Fuente. Este estudio

Tabla 13.

Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico de la densidad aparente del almidón.

VARIEDAD	Recuento	Densidad aparente (g/mL) *		Coefficiente de Variación
Colombia	3	0.883532±0.0152	a	1.72%
Jardinera	3	0.905581±0.0139	a	1.53%
Latina	3	0.881638±0.0076	a	0.87%

*No existe diferencia estadísticamente significativa (p-valor>0.05) entre aquellos valores de densidad aparente ($Media \pm D.E$), que comparten la misma letra del índice en una columna de la tabla.

Fuente. Este estudio

5.2.5 Acidez titulable y pH.

Los resultados de acidez titulable y pH observados en la Tabla 14, están dentro de los rangos de aceptabilidad para el almidón de todas las variedades, puesto que los valores de referencia se encuentran dentro del rango de 6.0-6.5. Por otra parte los valores de acidez a razón de mEq-Ácido láctico/ g de almidón, no presentaron variación y fueron menores que los valores de referencia (2.2E-03 y 5.0E-03 mEq-Ácido láctico/ g almidón). El valor del pH y de la acidez titulable son buenas medidas del grado de fermentación del almidón. El pH disminuye a 4.0 cuando sucede una fermentación ácida. El crecimiento de hongos libera amoníaco e incrementa el valor del pH (FAO, 1999). Sin embargo, puesto que el almidón extraído de las tres variedades no fue sometido a fermentación, sus valores de acidez titulable son acordes con los valores de pH, ya que existe una relación inversa entre estos dos parámetros; además se descarta la posibilidad de contaminación por hongos puesto que los datos de pH no sobrepasan el valor máximo de referencia.

Tabla 14.**Resultados de Acidez titulable y pH.**

VARIEDAD	pH*	Muestra (mL)	NaOH (mL)	Acidez (mEq- Ácido Láctico/g de almidón)
Jardinera	6.43	10	0.5	2.50E-08
Latina	6.42	10	0.2	2.00E-09
Colombia	6.30	10	0.5	2.50E-08

* Los valores de pH no fueron promediados, ni sometidos a tratamiento estadístico, puesto que sus valores están representados en una escala logarítmica.

Fuente. Este estudio

5.2.6 Contenido de amilosa.

En cuanto a los valores obtenidos de porcentaje de amilosa de los almidones, estos presentaron diferencia estadísticamente significativa (p -valor <0.05), donde los porcentajes más altos de amilosa en los almidones fueron para las variedades Jardinera y Latina con un valor promedio de 26.266% y 25.967% respectivamente. Adicional a ello, el almidón de la variedad Colombia obtuvo el menor porcentaje de amilosa con un contenido promedio de 24.824%, tal como se puede observar en la Figura 32 y el resumen estadístico de la Tabla 15. Estos resultados fueron superiores a los reportados por Aristizábal & Sánchez (2007), para el contenido promedio de la papa y arroz con un 20% y 19% respectivamente; de igual manera con la yuca con valores de referencia de 17y 24% (FAO, 1999).

El contenido de amilosa está asociado al proceso de gelificación o de agregados de cristales de almidón. Estos agregados generan texturas gelatinosas que aumentan su rigidez dependiendo de la proporción del mismo. En almidones con predominancia de amilopectina la textura puede ser más lisa. También pueden volverse más cohesivos. Estos agregados difieren significativamente entre los almidones de diferentes fuentes. (Bao & Bergman, 2004a).

El valor del contenido de amilosa en un almidón es el factor determinante para la calidad de

los alimentos terminados. Valores altos en el contenido de amilosa favorecen una mayor solubilidad, mayor viscosidad, mejor claridad del engrudo y mayor tendencia a la retrogradación de los geles (FAO, 1999).

Según Bao & Bergman (2004) la proporción entre amilosa y amilopectina, así como las variaciones moleculares de las mismas, también resulta influyente sobre la claridad u opacidad de las soluciones o sistemas alimenticios en los que sean usados como aditivos. Los almidones provenientes de cereales presentan cadenas de amilosa más cortas y cadenas de amilopectina más fracturadas, esto se asocia con la opacidad de productos alimenticios terminados. Para utilización en productos que requieran de mayor claridad como gelatinas y rellenos de frutas recomiendan utilizar almidones en los cuales predomine la amilopectina, para lo cual almidones de cadenas más largas como el de la papa han mostrado funcionalidad. La proporción de amilosa y amilopectina que presentaron los almidones nativos de las tres variedades estudiadas fue bastante similar y además resulta cercana a lo reportado por distintas fuentes para almidón de papa, por lo cual resultaría viable evaluarlos en la aplicación de la formulación de los productos mencionados. Adicionalmente también podrían evaluarse como espesantes en productos en los cuales la opacidad final no resulta ser de gran importancia, como salsas, aderezos, pudines y otros alimentos saborizados.

La amilosa también exhibe excelentes propiedades formadoras de película que pueden ser ventajosas en la reducción de absorción de aceite en aperitivos fritos, proporcionando texturas finales más firmes y crujientes (Bao & Bergman, 2004a), ofreciendo otro potencial de evaluación para almidones con buen contenido de la misma, como los evaluados en este trabajo.

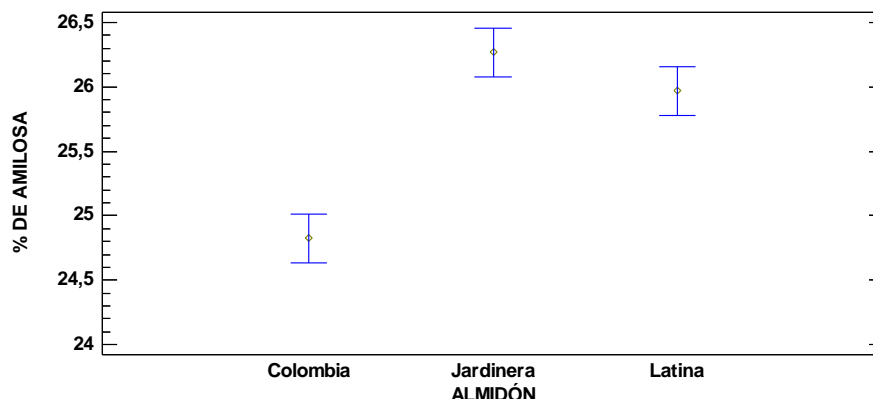


Figura 32. Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable Contenido de Amilosa.

Fuente. Este estudio

Tabla 15.

Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico del contenido de amilosa en el almidón.

VARIEDAD	Recuento	Contenido de amilosa (%) *	Coefficiente de Variación
Colombia	3	24.8243±0.111351 a	0.44%
Jardinera	3	26.266±0.240262 b	0.92%
Latina	3	25.967±0.240262 b	0.92%

*No existe diferencia estadísticamente significativa (p-valor>0.05) entre aquellos valores de contenido de amilosa (*Media±D.E.*), que comparten la misma letra del índice en una columna de la tabla.

Fuente. Este estudio

5.3 Caracterización funcional del almidón

5.3.1 Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA) y Poder de hinchamiento (PH).

Los resultados obtenidos presentaron diferencia estadísticamente significativa (p-valor<0.05).

En cuanto a el IAA del almidón de las variedades Jardinera, Latina y Colombia a temperaturas de preparación de 70, 80 y 90°C fueron estadísticamente mayores a los obtenidos a 60°C, por consiguiente, los valores del IAA se situaron en el rango de 5.20 a 6.74 g de gel/ g de muestra

para la menor temperatura evaluada (60°C) y entre 7.93 y 9.28 g de gel/ g de muestra para la mayores temperaturas evaluadas correspondiente a 70, 80 y 90 °C (ver Figura 33 y Tabla 18).

Con respecto a los resultados obtenidos de ISA, los valores más altos se alcanzaron a temperaturas de preparación de 70, 80 y 90°C, con solubilidades entre 1.61 a 3.92 g soluble/ g muestra para las variedades Latina, Jardinera y Colombia, tal como lo indica la Figura 34 y el resumen estadístico de la Tabla 17. Por su parte, los resultados más bajos se presentaron a la temperatura de preparación de 60 °C para las muestras de almidón de las tres variedades con valores promedio de 0.86 a 1.09 g soluble/ g muestra.

Finalmente, en la Figura 35 y la Tabla 18, se muestran los resultados obtenidos de PH con valores que oscilaron entre 5.24% a 9.45%; donde todas las variedades obtuvieron valores de poder de hinchamiento significativamente mayores a temperaturas de preparación de 70, 80 y 90 °C con respecto a los obtenidos a 60°C, con valores máximos promedio entre 8.03 y 9.45 %; y valores mínimos promedio entre 5.24% y 6.82%.

Los valores obtenidos de IAA, ISA y PH son similares a los reportados por Garnica et al. (2010) con valores promedio para los almidones de 17 clones promisorios de papa nativa (*Solanum tuberosum* l. subespecie *indígena*) de 11.2 g gel/ g muestra, 2.42 g soluble/ g muestra y 11.4% respectivamente.

Por otra parte la FAO (1999) indica que una baja solubilidad, alta absorción de agua y un alto poder de hinchamiento, son indicativos de buena calidad en los almidones, por ende, los almidones evaluados pueden ser catalogados como tal, ya que los valores de referencia para el índice de absorción de agua en el almidón de yuca varía entre 0.82 y 15.52 g gel/g muestra, el índice de solubilidad en agua entre 0.27-12.32 g solubles /g muestra y el poder de hinchamiento entre 0.79 y 15.45 %; datos comprobables con los valores máximos de IAA, ISA y PH obtenidos de este trabajo de investigación: 9.28 g de gel/ g de muestra, 3.92 g soluble/ g muestra y 9.45%

respectivamente. El mayor poder de hinchamiento, de solubilidad y de absorción del almidón de papa, según Rodríguez et al. (2012), se debe, probablemente, 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

El IAA, ISA y PH demostraron tener correlación directa con el incremento de la temperatura de preparación de las muestras, además, de acuerdo con Martínez et al. (2015), estos parámetros no estarían relacionados con el contenido de amilosa del almidón de las variedades, sin embargo, una mayor capacidad de absorción de agua podría estar influenciada por el tamaño del gránulo del almidón y la presencia de grupos hidrofílicos que retienen agua.

Por su parte, Rodríguez et al. (2012) plantea que un incremento en el poder de hinchamiento es causado por el proceso de gelatinización; mientras que la solubilidad y la absorción de agua son parámetros que muestran la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de las secciones amorfas y cristalinas. Estas interacciones provocan un incremento en la solubilización de algunas moléculas, particularmente la amilosa que se difunde hacia la fase acuosa (agua) parcialmente, a medida que se incrementa la temperatura tal como lo indican Hernández-Medina et al. (2008).

Como complemento directo, se encuentran los postulados de Bao & Bergman (2004) quienes señalan que el uso de almidón de papa nativa como agente espesante o aglutinante está sustentado en sus características reológicas específicas que pueden ser explicadas no por la proporción sino por las dimensiones moleculares de la amilosa y la amilopectina y específicamente por la estructura de la fracción de amilopectina y la contribución de grupos éster de fosfato, su carga, tipo y cantidad de cationes (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}) asociados con el almidón de papa.

Para efecto de las figuras 33, 34 y 35, las iniciales C, J y L corresponden a las variedades Colombia, Jardinera y Latina, y los números acompañantes corresponden a las temperaturas de

preparación del gel del almidón: 60, 70,80 y 90°C.

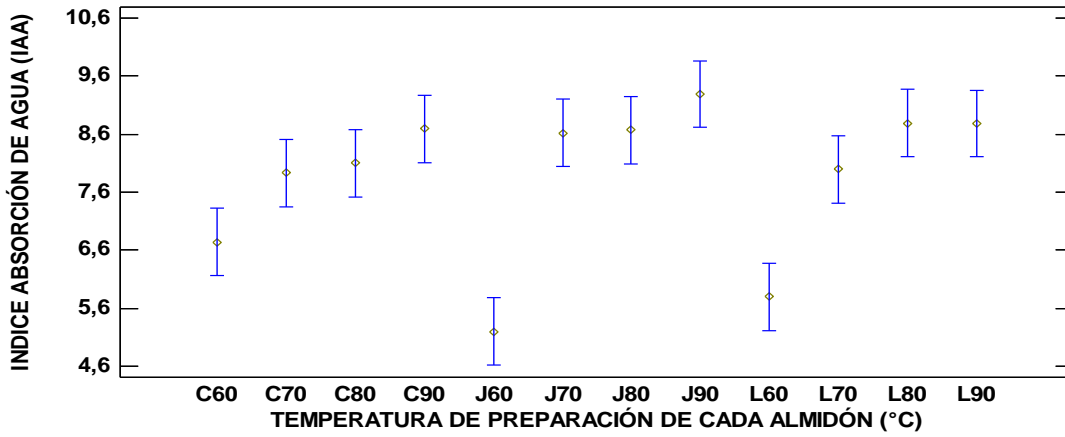


Figura 33. Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable Índice de Absorción de Agua (IAA).

Fuente. Este estudio

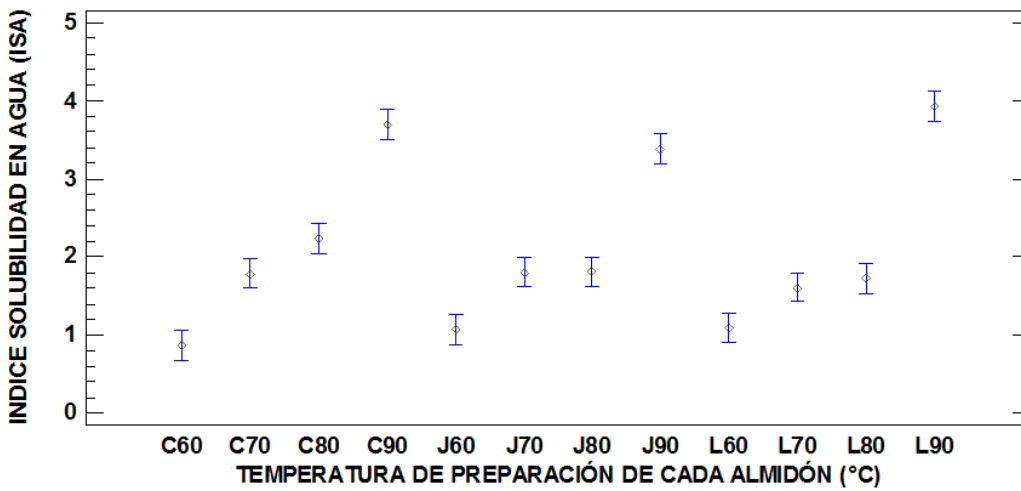


Figura 34. Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable Índice de Solubilidad en Agua (ISA).

Fuente. Este estudio

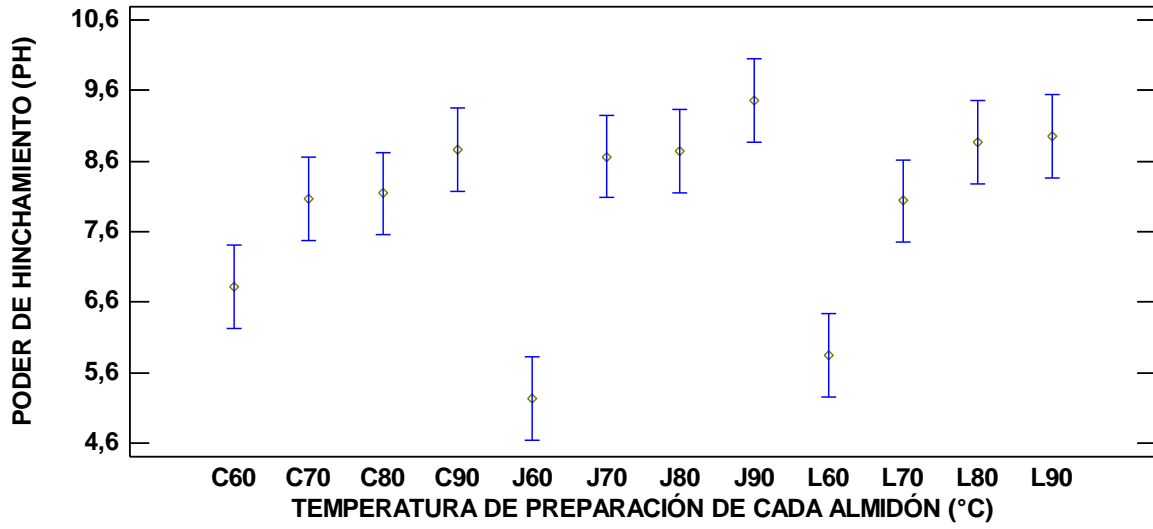


Figura 35. Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable Poder de Hinchamiento (PH).

Fuente. Este estudio

Cuadro 1.

Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico del índice de absorción de agua (IAA) del almidón

TEMPERATURA °C	Variedad								
	Colombia			Jardinera			Latina		
	IAA (g de gel/ g de muestra)* Media+- DE	Coefficiente de Variación		IAA (g de gel/ g de muestra)	Coefficiente de Variación		IAA (g de gel/ g de muestra)	Coefficiente de Variación	
60	6.74503±0.14	a	6.6312%	5.20433±0.18	b	3.55982%	5.79955±0.050	ab	0.903447%
70	7.92713±0.59	c	5.86165%	8.61604±0.55	cd	6.42452%	7.99104±0.18	c	2.29519%
80	8.10399±0.62	c	7.7244%	8.66743±0.95	cd	10.9652%	8.78154±0.27	cd	10.6917%
90	8.68768±0.50	cd	7.48475%	9.28587±1.26	d	13.6126%	8.78948±1.29	cd	3.12152%

*No existe diferencia estadísticamente significativa (p-valor>0.05) entre aquellos valores de IAA (*Media±D.E*), que comparten la misma letra del índice en el cuadro.

Fuente. Este estudio

Cuadro 2.

Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico del índice de solubilidad en agua (ISA) del almidón.

TEMPERATURA °C	Variedad								
	Colombia			Jardinera			Latina		
	ISA (g de soluble/ g de la muestra) *	Coefficiente de Variación		ISA g de soluble/ g de la muestra)	Coefficiente de Variación		ISA g de soluble/ g de la muestra)	Coefficiente de Variación	
60	0.86826±0.12	a	14.562%	1.07817±0.12	a	11.7373%	1.09459±0.030	a	10.0754%
70	1.78698±0.080	b	4.74641%	1.80482±0.17	b	9.89471%	1.61018±0.10	b	2.86004%
80	2.2406±0.10	c	4.56849%	1.80622±0.12	b	7.14407%	1.72645±0.17	b	6.42254%
90	3.69094±0.52	d e	14.2555%	3.37846±0.27	d	8.09508%	3.92619±0.35	e	8.97585%

*No existe diferencia estadísticamente significativa (p -valor>0.05) entre aquellos valores de ISA (*Media*±*D.E*), que compartan la misma letra del índice en el cuadro.

Fuente. Este estudio

Cuadro 3.

Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico del poder de hinchamiento (PH) del almidón.

TEMPERATURA °C	Variedad								
	Colombia			Jardinera			Latina		
	PH (%) *	Coficiente de Variación		PH (%)	Coficiente de Variación		PH (%)	Coficiente de Variación	
60	6.82462±0.13	b	1.98321%	5.24354±0.18	a	3.59142%	5.84074±0.05	ab	0.904852%
70	8.06942±0.61	c	7.67975%	8.66378±0.56	cd	6.48216%	8.03413±0.18	c	2.31963%
80	8.13958±0.51	c	7.78724%	8.74307±0.96	cd	11.044%	8.87112±1.30	cd	14.7583%
90	8.76741±0.51	cd	5.92185%	9.45957±1.29	d	13.6797%	8.95551±0.27	cd	3.0343%

*No existe diferencia estadísticamente significativa (p-valor>0.05) entre aquellos valores de PH (*Media±D.E*), que comparten la misma letra del índice en el cuadro.

Fuente. Este estudio

5.3.2 Sinéresis

De acuerdo con el análisis de varianza, se determinó que existe diferencia estadísticamente significativa en cuanto al porcentaje de sinéresis de los geles de almidón (p -valor <0.05). Como se puede evidenciar en la Figura 36 y la Tabla 19, el porcentaje de sinéresis del almidón aumentó progresivamente durante el paso de los días de almacenamiento. En cuantos a los geles de las tres variedades se encontró que no hubo variación significativa en el porcentaje de sinéresis entre los días 5, 6 y 7 de almacenamiento a temperatura de refrigeración (4°C), sin embargo si hubo un incremento estadísticamente significativo entre los días 1 y 2. Por otra parte, el gel de la variedad Latina fue el que presentó el menor porcentaje de sinéresis al término de los 7 días de almacenamiento con un valor promedio de 34.1%.

Estos resultados son similares a los reportados por Martínez et al. (2015), con valores para los almidones de las variedades de papa nativa SOL y PER (9.8 y 12.6%, respectivamente) después de 24 h (día 1); y valores de sinéresis cercanos al 40% al término del séptimo día para la variedad SOL.

Los sistemas de almidón dispersos tienden a cambiar su estado ordenado y al mismo tiempo liberar el agua retenida (Bao & Bergman, 2004a). El efecto visible se llama sinéresis y puede entenderse como una indicación de cambios intensivos en la estructura de gel. Con respecto a las preparaciones alimenticias, tales cambios son altamente indeseables, especialmente en productos que requieren estabilidad congelación-descongelación como lo son los derivados cárnicos y productos vegetarianos que tratan de emularlos y que usan el almidón en sus formulaciones por su capacidad de hinchamiento y retención de agua. En estos casos la sinéresis es un fenómeno que en definitiva se busca evitar, pues se considera un evidente defecto de calidad.

Sin embargo, esta baja estabilidad de los geles de almidón de las tres variedades a condiciones de refrigeración pueden ser favorables en algunos casos, como la evaluación en

aquellos alimentos que necesiten ser almacenados a temperaturas de refrigeración y que requieran la incorporación de agua mediante la exudación de estos almidones para proporcionar una apariencia fresca como flanes y salsas, tal como lo indican Hernández-Medina et al. (2008).

Por otra parte, de acuerdo con Aristizábal & Sánchez, (2007), menciona que la retrogradación es asociada en gran parte con la fracción de amilosa, adicionado a su alto peso molecular. Altas concentraciones de amilosa implican formación de geles fuertes, opacos y que sufren sinéresis.

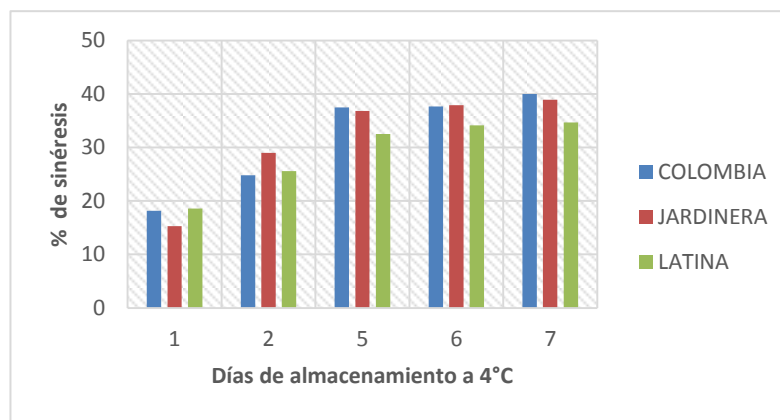


Figura 36. Evolución del porcentaje de sinéresis para los geles de almidón almacenados a temperatura de refrigeración.

Fuente. Este estudio

Cuadro 4.

Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico de la sinéresis del almidón.

DÍA	Variedad								
	Colombia			Jardinera			Latina		
	Sinéresis (%) *	Coefficiente de Variación		Sinéresis (%)	Coefficiente de Variación		Sinéresis (%)	Coefficiente de Variación	
1	18.1474±0.57	b	3.14895%	15.2723±0.15	a	1.01864%	18.5558±0.69	b	3.75392%
2	24.8142±0.95	c	3.8593%	28.9643±0.66	d	2.28438%	25.5974±0.53	c	2.10637%
5	37.4634±1.73	fg	4.63767%	36.8388±0.94	f	2.57807%	32.5095±1.51	e	4.65795%
6	37.647±1.798	fg	4.776%	37.912±2.158	fg	5.69421%	34.1013±1.68	e	4.94438%
7	39.9685±0.41	g	1.02693%	38.925±1.537	fg	3.94926%	34.1638±0.55	e	1.63028%

*No existe diferencia estadísticamente significativa (p-valor>0.05) entre aquellos valores de sinéresis (*Media±D.E*), que comparten la misma letra del índice en el cuadro.

Fuente. Este estudio

5.3.3 Análisis de perfil amilográfico

Este análisis permitió identificar los datos de parámetros relevantes como la temperatura de viscosidad máxima, temperatura de gelatinización (T_g), viscosidad máxima de la muestra (V_m), y periodos de rompimiento y recuperación de la viscosidad de disoluciones de almidón de las variedades estudiadas, tal como se puede ver en las Figuras 37, 38 y 39. Los resultados fueron obtenidos mediante dos corridas en el proceso de formación de las pastas de almidón, por lo cual se presentaron dos viscosidades máximas por cada variedad; de acuerdo con Enriquez C, Velasco M, & Fernandez Q (2013), dicho fenómeno podría atribuirse a una distribución amplia de tamaños de gránulos de almidón.

Los resultados obtenidos de las figuras nombradas anteriormente se resumen en la Tabla 20. De acuerdo con esta tabla, se determinó que el almidón de la variedad Latina fue la que obtuvo la viscosidad máxima más alta con un valor promedio de 7202.0 cP, seguido de las variedades Colombia y Jardinera con valores promedio de 5102.0 y 3725.5 cP respectivamente. Los anteriores valores fueron semejantes a los reportados por Martínez et al (2015), con valores de pico de viscosidad de 5268 y 9107 cP para suspensiones de almidón de las variedades de papa nativa PER y SOL respectivamente, sin embargo, este mismo autor reportó valores de viscosidad máxima para almidón de algunas variedades nativas muy superiores a los encontrados por este estudio, con datos de hasta 333080 cP en el caso de la variedad CO. Adicional a ello, Garnica et al. (2010), encontró viscosidades máximas promedio de 5323 cP para suspensiones de almidón de 17 clones promisorios de papa nativa. No obstante, independientemente de la variedad o tipo de papa que provenga el almidón, su perfil amilográfico se caracteriza por su alta consistencia en la gelificación seguida por una disminución en la viscosidad después de un calentamiento y agitación adicionales; su baja temperatura de gelatinización y su excelente formación de película flexible y fuerza de adhesión (Grace, 1997)

La viscosidad presenta ventajas o desventajas competitivas, dependiendo del tipo de aplicación que se desee desarrollar (Garnica et al., 2010), sin embargo para el caso de los almidones de estas tres variedades, en especial el de la variedad Latina, es sugerible con un alto potencial su evaluación en productos como alimentos infantiles, gelatina, bebidas y natillas, puesto que los valores de viscosidad máxima obtenidos están por encima de 750 cP, viscosidad mínima establecida para su uso potencial en estos productos, de acuerdo con lo reportado por Manchola R. (2012). De acuerdo con lo anterior, estos almidones gracias a sus altas viscosidades probablemente dispersen eficazmente los ingredientes en el mezclado (FAO 2007); favoreciendo su empleo en la elaboración de postres, pudines, rellenos, sopas o alimentos líquenosidos espesos.

El almidón de los tubérculos y raíces como la papa y la yuca presentan un fuerte elevamiento de la viscosidad durante la cocción, mucho mayor que el de los cereales como el trigo y el maíz, debido a que tienen mayor capacidad de absorción de agua, mayor velocidad de hidratación y se desintegran rápidamente. Además, como se puede ver en los perfiles amilográficos, la viscosidad máxima cae rápidamente durante el mantenimiento de la temperatura, debido a la ruptura de los gránulos de almidón. Posteriormente alcanzan un máximo de pico de viscosidad se produce un descenso en la misma que para el almidón de papa es muy pronunciado como resultado de las fuerzas de cizallamiento aplicadas por los elementos de mezcla a alta temperatura, tal como lo indica Aristizábal & Sánchez (2007). La disminución registrada de la viscosidad (descomposición) es común por la sensibilidad del almidón de papa hacia el cizallamiento y el tratamiento térmico (Bao & Bergman, 2004).

El almidón de la variedad Jardinera fue el que registró la temperatura de viscosidad máxima más alta con un valor promedio de 89.4°C. En cuanto a la viscosidad del periodo de inicio de enfriamiento, esta no presentó diferencia estadísticamente significativa (p -valor >0.05) entre las

muestras de almidón de las tres variedades y sus valores promedios se situaron entre 1860.5 y 2180.0 cp. Además, el almidón de las variedades Latina junto con Jardinera, registraron la viscosidad más alta al final del enfriamiento con valores de 4379.0 y 3847.5 cP. Este aumento de viscosidad al que conlleva el periodo de enfriamiento se debe a la retrogradación de los almidones, pues cuando se calienta en suspensión acuosa el almidón de papa, esta pierde irreversiblemente su estructura granular tan pronto como se alcanza un rango de temperatura crítico, la temperatura de gelatinización (Tg). Bajo tales condiciones, los gránulos se hinchan tangencialmente al principio y se desintegran bajo la formación de una dispersión coloidal. Tal desintegración está conectada con un fuerte aumento de la viscosidad, que es inusualmente pronunciado con el almidón de papa como resultado de la hidratación adicional de los grupos ésteres fosfato característicos (Bao & Bergman, 2004).

Por otra parte, en cuanto a las temperaturas de gelatinización (Tg), las variedades Jardinera y Latina presentaron significativamente las más altas temperaturas de gelatinización con 66.30 y 66.05 °C respectivamente, seguida por la variedad Colombia con 62.3 °C, (p-valor<0.05), tal como se observa en la Tabla 21. A pesar de que el almidón de las dos primeras variedades presentaron valores de Tg bastante cercanos, la pequeña variación puede estar relacionada con el contenido de amilosa de sus almidones, puesto que Manchola R. (2012), Coello Ortiz & Garcés Barcia (2010) manifestaron que hay una relación directa entre el contenido de amilosa y la temperatura de gelatinización del almidón (Tg), lo cual puede deberse a la mayor estabilidad térmica que esta molécula otorga, dada la alta estabilidad de los enlaces alfa-1,4. En el caso de este trabajo de investigación, lo anterior se demuestra mediante la Figura 40, obtenida al correlacionar la Tg con respecto a el contenido de amilosa del almidón de las tres variedades, con una R-cuadrada de 0.9874. Así mismo se observó una relación entre el contenido de amilosa y la viscosidad final de enfriamiento.

De acuerdo con Martínez et al. (2015), la variedad y la zona de cultivo tienen una influencia significativa en la viscosidad aparente de las suspensiones de almidón, así como también Enriquez C et al. (2013), plantean que podría atribuirse a la relación amilosa/ amilopectina, ya que según los autores, se ha demostrado que la viscosidad disminuye al incrementar dicha relación, puesto que almidones con mayor contenido de amilosa presentan mayor estabilidad estructural debido a que existe mayor atracción de las cadenas poliméricas dada la alta estabilidad de los enlaces alfa-1-4.

Los almidones con alta viscosidad son útiles en la industria porque dispersan eficazmente los ingredientes en el mezclado (Aristizábal & Sánchez, 2007); favoreciendo su empleo en la elaboración de postres, pudines, rellenos, sopas o alimentos líquidos espesos (Garnica, et al. 2010). Como ya se mencionó, la variedad Latina es aquella con mayor potencial para los usos industriales mencionados debido a que su almidón presentó la mayor viscosidad durante todo el perfil amilográfico (ver Figura 37).

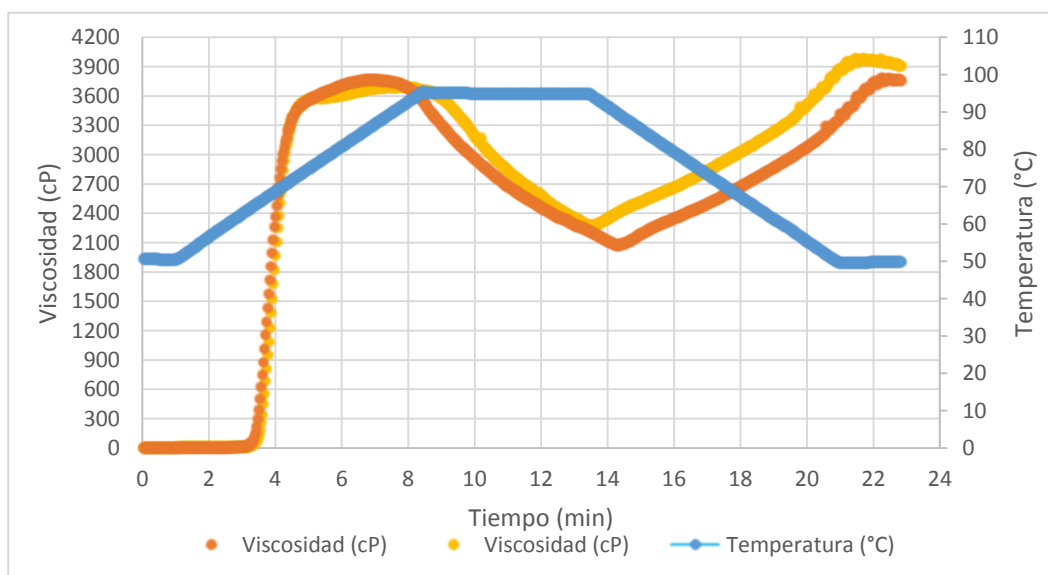


Figura 37. Perfil Amilográfico del Almidón de la variedad Jardinera.

Fuente. Este estudio

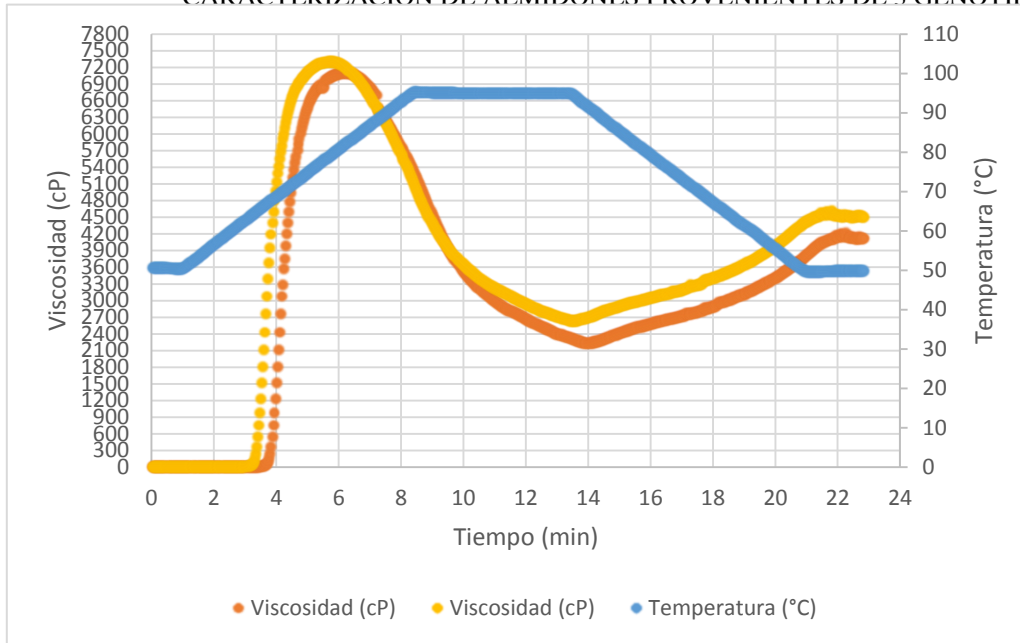


Figura 38. Perfil Amilográfico del Almidón de la variedad Latina.

Fuente. Este estudio

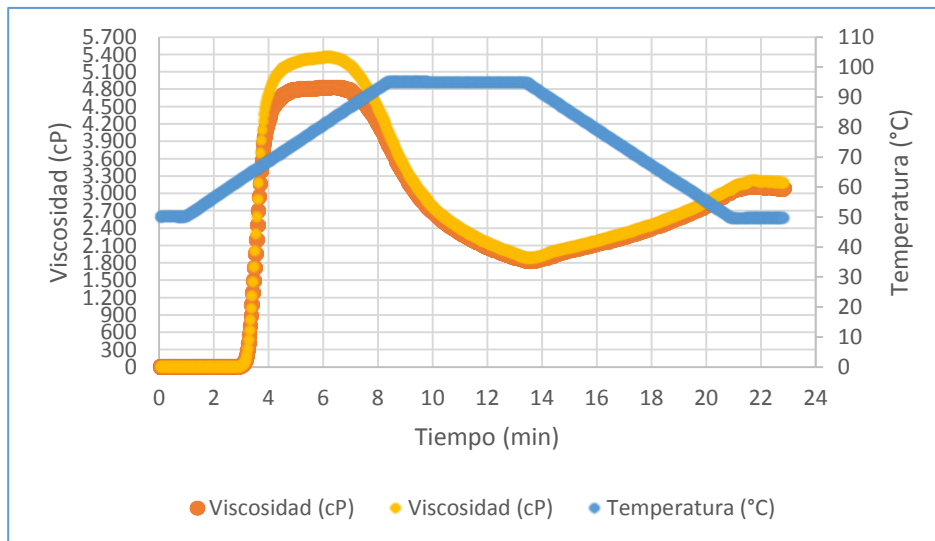


Figura 39. Perfil Amilográfico del Almidón de la variedad Colombia.

Fuente. Este estudio

Cuadro 5.

Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico de los resultados de l perfil amilográfico del almidón de las variedades estudiadas.

PARÁMETROS AMILOGRÁFICOS*	ALMIDÓN											
	Jardinera		Desv. Estandar	Coef. de variación	Latina		Desv. estandar	Coef. de variación	Colombia		Desv. estandar	Coef. de variación
TEMPERATURA DE VISCOSIDAD MÁXIMA (°C)	89.4	a	0.212132	0.237152%	80.8	b	1.9799	2.45037%	82.8	b	0.919239	1.10952%
VISCOSIDAD MÁXIMA (cP)	3725.5	a	41.7193	1.11983%	7202.0	b	141.421	1.96364%	5102.0	c	369.11	7.23461%
INICIO DE ENFRIAMIENTO (cP)	2180.0	a	149.907	6.87645%	2427.0	a	282.843	11.654%	1860.5	a	36.0624	1.93832%
ROMPIMIENTO (cP)	1545.5	a	191.626	12.399%	4775.0	b	141.421	2.9617%	3241.5	c	333.047	10.2745%
PERIODO FINAL DE ENFRIAMIENTO (cP)	3847.5	a	143.543	3.7308%	4379.0	a	282.843	6.45907%	3165	b	94.7523	2.99375%
RECUPERACIÓN (cP)	1769.0	a	149.907	8.47409%	1952.0	a	0	0%	1304.5	b	58.6899	4.49903%

*No existe diferencia estadísticamente significativa (p-valor>0.05) entre aquellos valores de cada parámetro amilográfico (*Media±D.E*), que comparten la misma letra del índice en una fila del cuadro.

Fuente. Este estudio

Cuadro 6. Medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable Temperatura de gelatinización (Tg).

ALMIDÓN	TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN (Tg) °C *	Coefficiente de variación
Colombia	62.3±0	a
Latina	65.05±0.212132	b
Jardinera	66.30±0.212132	b

*No existe diferencia estadísticamente significativa (p-valor>0.05) entre aquellos valores de Tg (*Media±D.E*), que comparten la misma letra del índice en una columna del cuadro.

Fuente. Este estudio

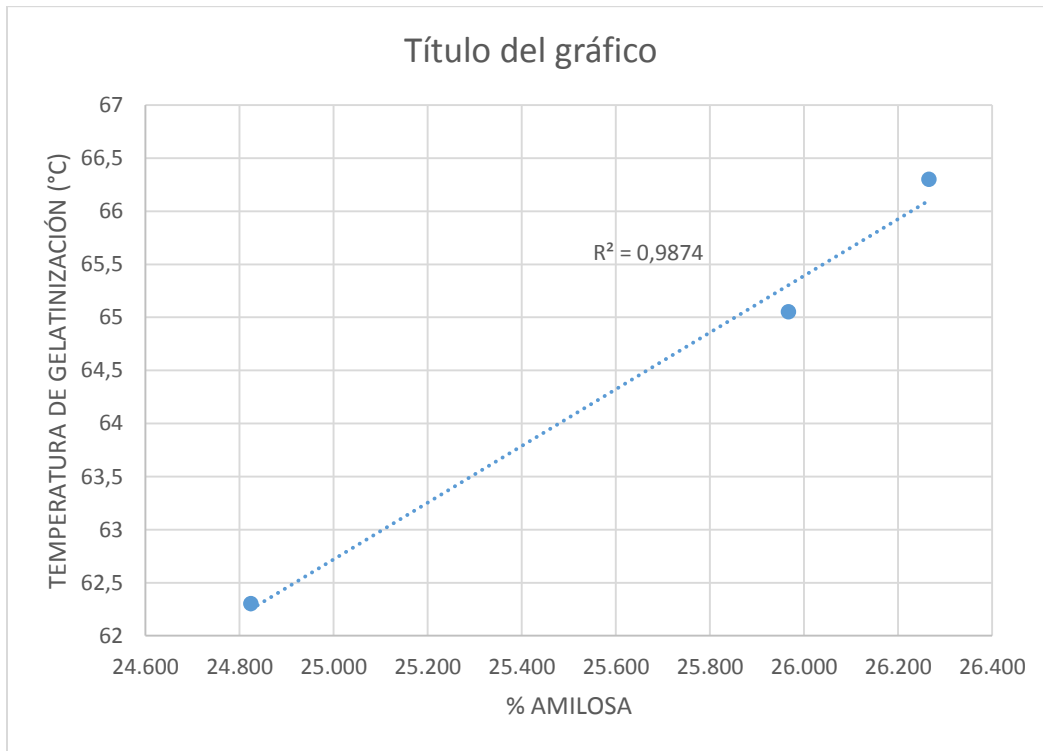


Figura 40. Temperatura de gelatinización VS contenido de Amilosa.

Fuente. Este estudio

5.3.4 Fuerza máxima de fractura del gel formado (Dureza).

Los resultados obtenidos para la dureza de los geles de almidón a diferentes concentraciones, presentaron diferencia estadísticamente significativa (p -valor <0.05) (ver Figura 41 y Tabla 22). Además, se pudo constatar que existe una relación directa entre el porcentaje de almidón de los geles formados y la Dureza de los mismos. Por otra parte, el gel formado a partir de suspensiones de almidón del 12% de la variedad Jardinera fué la que obtuvo la mayor dureza (4.5 N), valor cercano al doble que el obtenido por las variedades Latina y Colombia a la misma concentración; esto puede estar relacionado con un mayor contenido de amilosa por parte del almidón de la variedad Jardinera que las otras variedades, 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 (Bao & Bergman, 2004). Los geles formados con un nivel de suspensión del 8% de almidón, presentaron significativamente una mayor dureza que los geles preparados a partir de un nivel de suspensión del 4% en el caso de todas las variedades.

En la Figura 42, de manera ilustrativa se puede observar la evolución de la fuerza aplicada que incide sobre el gel del almidón de una de las variedades hasta llegar a perforarlo (pico del diagrama); este pico corresponde al punto de fuerza de fractura o dureza.

Bao & Bergman (2004) reportan que cadenas de amilosa de más de 1000 unidades de glucosa tienden a formar geles en lugar de cristalizar (solidificarse) y adicionalmente reportan que el almidón de papa es bien conocido por proporcionar alta viscosidad y formar pastas y geles de buena consistencia. Este comportamiento de pastas y geles se combina con alta claridad, propiedad ventajosa y deseada en aplicaciones alimentarias, donde la claridad es especialmente deseada.

Para efecto de la Figura 41, las iniciales C, J y L corresponden a las variedades Colombia, Jardinera y Latina, y los números acompañantes corresponden al porcentaje de almidón en la

suspensión para la preparación del gel: 4, 8 y 12%.

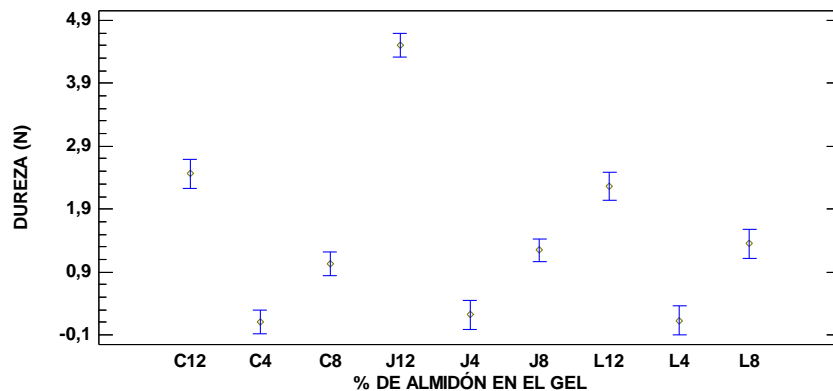


Figura 41. Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher para la variable

Dureza.

Fuente. Este estudio

Cuadro 7.

Diagrama de medias e intervalos del 95% de la LSD de Fisher y resumen estadístico de la dureza del gel de almidón

CONCENTRACIÓN DE PREPARACIÓN DEL GEL (%)	Variedad								
	Colombia			Jardinera			Latina		
	Dureza (N) *		Coefficiente de Variación	Dureza (N)		Coefficiente de Variación	Dureza (N)		Coefficiente de Variación
4	0.10653±0.01	a	12.0694%	0.22190±0.01	a	7.86117%	0.13001±0.01	a	9.14817%
8	1.03123±0.10	b	10.5379%	1.24593±0.10	b	8.28108%	1.3526±0.193	b	14.3136%
12	2.4606±0.28	c	11.7535%	4.50943±0.45	d	10.0394%	2.2618±0.025	c	1.10671%

*No existe diferencia estadísticamente significativa (p-valor>0.05) entre aquellos valores de dureza del gel (*Media±D.E*), que comparten la misma letra del

índice en el cuadro.

Fuente. Este estudio

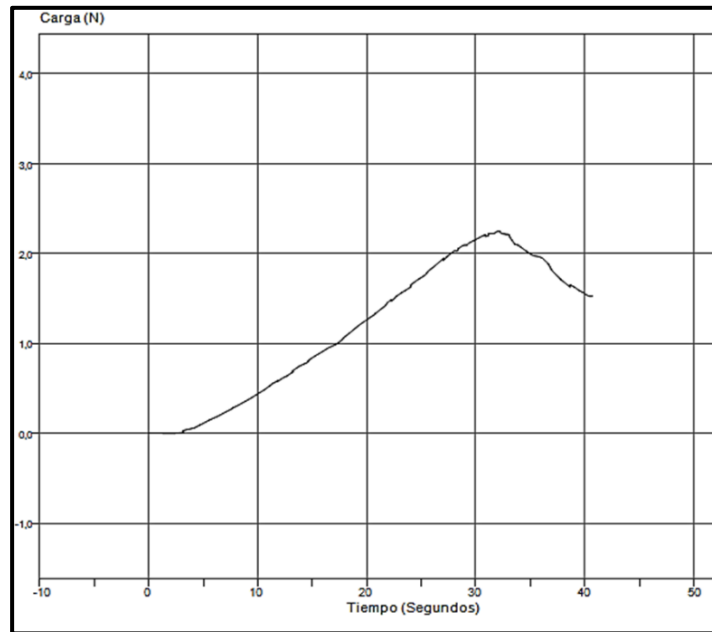


Figura 42. Perfil de la dureza del gel.

Fuente. Este estudio

5.3.5 Análisis de variables térmicas mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC).

Los resultados de este análisis se obtuvieron mediante los termogramas de DSC de las Figuras 43, 44 y 45 presentadas a continuación y sus variables se resumieron en la Tabla 23. No se realizó análisis estadístico a los datos obtenidos puesto que se realizó una sola corrida por muestra de almidón de cada variedad. Los valores de la temperatura de inicio de gelatinización (T_o) fueron de 61.20 °C, 60.90 °C y 36.24 °C, los valores de temperatura de gelatinización (T_p), 66.21 °C, 65.86 °C y 67.12 °C y finalmente las temperaturas de finalización de la gelatinización o fusión (T_c) fueron de 72.29 °C, 72.25 °C y 78.87 °C respectivamente para los almidones de las variedades Jardinera, Latina y Colombia. En cuanto a la entalpia de formación del gel (ΔH_{gel}), los valores obtenidos fueron de 19.81, 13.87 y 1785 J/g para los almidones de las variedades Jardinera, Latina y Colombia respectivamente.

Los resultados obtenidos para el almidón de las variedades Jardinera y Latina fueron similares

a los reportados por diversos autores para el almidón de distintas variedades de papa y otras fuentes botánicas, tal como lo reportan Karim et al. (2007), con valores de T_o entre 59 y 61.9 °C, T_p entre 62.1 y 64.8 °C, T_c entre 69.6 y 73.8 °C y ΔH_{gel} entre 14.3 y 17.4 J/g en su trabajo sobre almidón de diferentes cultivares de papa; Así mismo dos Santos et al. (2016), reportaron valores de T_o entre 64.64 y 66.66 °C, T_p entre 67.32 y 69.08 °C, T_c entre 71.13 y 74.8 °C y ΔH_{gel} entre 15.54 y 17.85 J/g para almidones de diferentes cultivares de papa en Brasil; Por su parte Oluwaseyi et al. (2013) trabajaron con almidón de papa dulce (batata) y obtuvieron valores de T_o y T_p comprendidos entre 54.5 y 69.1 °C y entre 62.5 y 75.9 °C respectivamente, con valores medios de 62.31 y 71.23 °C, así como ΔH_{gel} con valores entre 10.84 y 11.89 J/g.

Por último Assad-Bustillos et al. (2014), estudiaron el almidón de semillas de huauzontle (alimento similar a la quinua y popular en la gastronomía mexicana) y reportaron valores promedio de 63.2 °C, y 68.4 °C para la T_o y la T_p respectivamente. Sin embargo los resultados obtenidos para el almidón de la variedad Colombia difieren bastante de los anteriores, pues aunque se obtuvieron valores de T_p y T_c ligeramente superiores a los reportados por otras investigaciones y a los obtenidos por los almidones de las otras dos variedades estudiadas en este trabajo pero dentro de un rango coherente, los valores de T_o y ΔH_{gel} obtenidos mostraron un desfase nada común con valores muy elevados a los normales para cualquier tipo de almidón. Como se puede observar en el termograma respectivo, el proceso endotérmico inicio demasiado pronto (prácticamente al momento de inicio de la corrida) y de manera muy pronunciada, produciendo una entalpia de gelatinización muy elevada y poco fiable. Estos valores solo pueden explicarse por errores técnicos en la medición y sea por impurezas en la celda problemas de calibración del equipo.

Cabe resaltar en cuanto a los resultados obtenidos de T_p para el almidón de las variedades Jardinera, Latina y Colombia que estos son una medida de la calidad de cristales (longitud de

doble hélice). El T_p alto puede ser debido a la mayor proporción de cadenas más largas en las amilopectina. Estas cadenas podrían formar hélices dobles que requerirían una temperatura más alta para disociarse completamente que la requerida para hélices dobles más cortas. Probablemente los valores de entalpía se vieron afectados por la arquitectura molecular de la región cristalina, la amilosa / amilopectina, la presencia de cadenas cortas de amilopectina, la cantidad de orden doble helicoidal y la estructura molecular de la amilosa y la amilopectina (Karim et al., 2007), puesto que, el ΔH da una medida general de cristalinidad (calidad y cantidad), y es considerado como un indicador de la pérdida del orden molecular de las dobles hélices que forman los cristalitos de amilopectina debido a la rotura de enlaces de hidrógeno dentro del gránulo. Por otra parte, de acuerdo con R. dos Santos et al. (2016), el contenido de amilosa es uno de los principales factores que afectan las propiedades fisicoquímicas del almidón, y un mayor contenido de amilosa puede conducir a una temperatura de gelatinización más alta, una viscosidad de pico más baja y un desglose.

Sin tener en cuenta los resultados atípicos de las propiedades térmicas del almidón de la variedad Colombia, las temperaturas de gelatinización fueron muy similares a las obtenidas por los amilogramas del almidón de las variedades Latina y Jardinera. La amilosa posee una gran capacidad para formar puentes de hidrógeno, lo que disminuye su afinidad con el agua y hace que se requiera una cantidad alta de energía para incorporarla en su estructura, elevando la temperatura inicial de gelatinización para aquellos almidones con mayor proporción de amilosa (Coello Ortiz & Garcés Barcia, 2010), dicho fenómeno se puede observar en los resultados obtenidos de T_o y se corrobora con el contenido de amilosa del almidón de las variedades Latina y Jardinera.

Cuadro 8. Propiedades térmicas de gelatinización (DSC) del almidón de las variedades de papa nativa.

VARIEDAD	Temperatura inicial de gelatinización	Temperatura de gelatinización	Temperatura final de gelatinización o de fusión.	Entalpia de gelatinización
	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	ΔH_{gel} (J/g)
Jardinera	61.20	66.21	72.29	19.81
Latina	60.90	65.86	72.25	13.87
Colombia	36.24	67.12	78.87	1785

Fuente. Este estudio

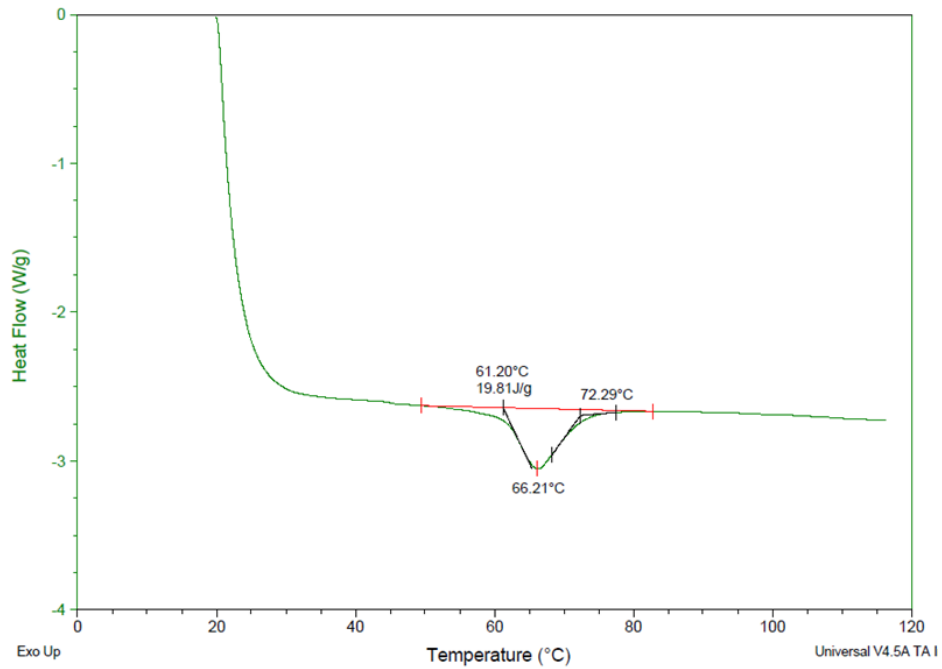


Figura 43. Termograma de DSC para el almidón de la variedad Jardinera.

Fuente. Este estudio

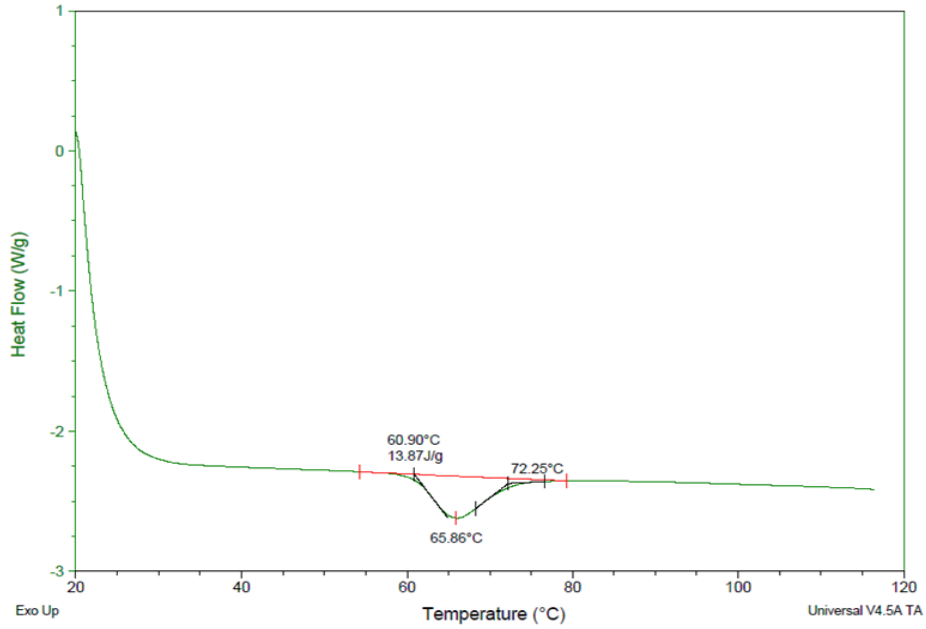


Figura 44. Termograma de DSC para el almidón de la variedad Latina

Fuente. Este estudio

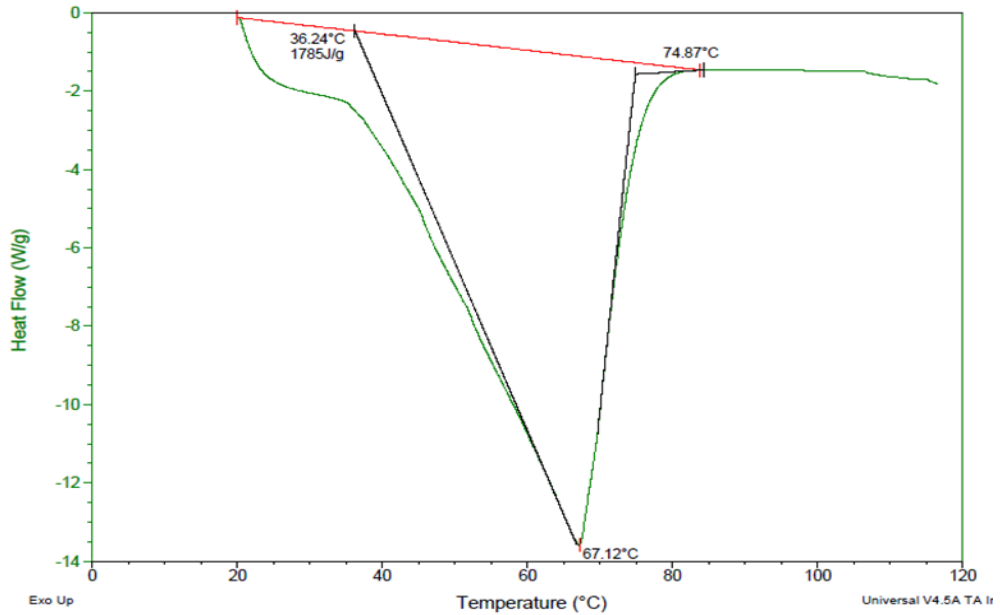


Figura 45. Termograma de DSC para el almidón de la variedad Colombia.

Fuente. Este estudio

6. Conclusiones

Los tres genotipos, Jardinera, Latina y Colombia, fueron escogidas entre diez variedades de papa nativa (*Solanum tuberosum* Grupo *phureja*) por presentar los mayores rendimientos de almidón: 18.70%, 16.38 % y 15.23 % respectivamente.

Los tres almidones caracterizados presentaron propiedades fisicoquímicas y funcionales similares, pero con diferencias estadísticamente significativas en algunos de los resultados, entre ellos: Rendimiento, Índice de Color (IC), contenido de amilosa, índices de absorción de agua (IAA) y de solubilidad en agua (ISA), poder de hinchamiento (PH), sinéresis (en los días iniciales), dureza de gel, temperatura de gelatinización (Tg) viscosidad de enfriamiento y finalmente viscosidad máxima y temperatura de la misma.

Los valores de pH y el contenido de humedad del almidón de todas las variedades estuvieron dentro de los rangos de aceptabilidad establecidos por la FAO, indicadores favorables para almidones grado industrial y que ayudan a descartar contaminación por agentes microbiológicos.

Los granulos de almidón de las tres variedades mostraron un buena calidad de ajuste al modelo de distribución de tamaños de Rosin Rammler (R-R), con valores de coeficientes de correlación de la regresión (r^2) superiores al 0.95; al igual que la densidad aparente de sus gránulos estuvieron dentro del límite establecido para almidones con alta porosidad interparticular y facilidad de dispersión en solución, indicador deseable para su uso potencial como aglutinante y formador de película.

El almidón de la variedad Latina presentó el mayor IC respecto a las otras variedades, siendo este el más cercano al punto neutro del espectro, correspondiente al color blanco, indicador de buena calidad establecido por la FAO para almidones de grado industrial.

El almidón de las tres variedades evaluadas reportó valores de IAA, ISA y PH superiores a temperaturas de preparación de los geles de 70, 80 y 90°C con respecto a la menor temperatura

de preparación de 60°C. Así mismo, se estableció una correlación directa entre el incremento de las propiedades funcionales de IAA, ISA y PH respecto al incremento de la temperatura de preparación de los geles.

No hubo variación significativa en el porcentaje de sinéresis entre los días 5, 6 y 7 de almacenamiento a temperatura de refrigeración (4°C), sin embargo sí hubo un incremento estadísticamente significativo entre los días 1 y 2 para los geles de las tres variedades. La variedad Latina fue la que presentó el menor porcentaje de sinéresis al término de los 7 días de almacenamiento con un valor promedio de 34.1%.

Los porcentajes más altos de amilosa en los almidones fueron para las variedades Jardinera y Latina con un valor promedio de 26.266% y 25.967% así como también sus temperaturas de gelatinización, 66.30 y 66.05 °C respectivamente, estableciéndose una correlación directa entre estas dos propiedades.

El almidón de la variedad Latina fue la que obtuvo la viscosidad máxima más alta con un valor promedio de 7202.0 cP. El almidón de la variedad Jardinera fue el que registró la temperatura de viscosidad máxima más alta con un valor promedio de 89.4°C además de la mayor fuerza de ruptura de gel al 12% p/v con un valor de 4.5 N. Además, el almidón de las variedades Latina junto con Jardinera, registraron la viscosidad más alta al final del enfriamiento con valores de 4379.0 y 3847.5 cP, observándose una correlación directa con el contenido de amilosa en los almidones.

En cuanto a las propiedades térmicas obtenidas mediante DSC, se observaron temperaturas de gelatinización (T_p) similares a las obtenidas en el amilograma, con valores de 65.86 °C y 66.21 °C para el almidón de las variedades Latina y Jardinera respectivamente. Por su parte las entalpías de formación del gel (ΔH_{gel}) fueron de 13.87 y 19.81 J/g respectivamente para el almidón de las dos variedades nombradas.

7. Recomendaciones

Se concluyó que los tres almidones evaluados tienen potencial como aditivos e ingredientes para la industria, debido a su buena calidad. Sin embargo es necesario llevar a cabo un estudio a profundidad que permita establecer sus mejores usos, basándose en la evaluación funcional y sensorial de dichos almidones en el procesamiento de productos terminados.

De darse continuidad a las investigaciones con estas variedades, es también importante estandarizar las condiciones de cultivo y realizar un seguimiento del mismo, pues dichas condiciones pueden generar variaciones importantes en las propiedades de los almidones, inclusive dentro de una misma variedad.

Bibliografía

- Aldana, A. S., Sandoval, E. R., & Fernandez, A. (2005). APPLICATION OF ANALYSIS BY DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY (DSC) FOR THE CHARACTERIZATION OF THE MODIFICATIONS OF THE STARCH, 45–53.
- Araujo de Vizcarrondo, C., Rincón, A. M., & Padilla, F. (2004). Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 241–245. Retrieved from http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200016&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *Fao*, 163, 134. <http://doi.org/9253056770-9789253056774>
- Bao, J., & Bergman, C. J. (2004a). *Starch in Food. Starch in Food.* <http://doi.org/10.1533/9781855739093.2.258>
- Bao, J., & Bergman, C. J. (2004b). *Starch in Food. Starch in Food.* <http://doi.org/10.1533/9781855739093.2.258>
- Bonierbale, M., Amoros, W., Espinoza, J., Mihovilovich, E., Roca, W., & Gómez, R. (2004). Recursos genéticos de la papa, don del pasado, legado para el futuro. *Suplemento Revista Latinoamericana de La Papa*, 3–14.
- Bonilla, M. H., Cardozo, F., & Morales, A. (2009). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la papa en Colombia con énfasis en papa criolla. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica)*.
- Casas-Alencáster, N. ., & Pardo-García, D. . (2005). ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA Y PROPIEDADES DE RELAJACIÓN DE GELES DE MEZCLAS ALMIDÓN MAÍZ CEROSO ENTRECruzADO-GELANA. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4(1), 107–121. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62040109>

- Cerón, A., Hurtado, A., Osorio, O., & Buchely, M. (2011). Estudio de la formulación de la harina de papa de la variedad parda pastusa (*solanum tuberosum*) como sustituto parcial de la harina de trigo en panadería. *Bioteología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 9(1), 115–121.
- Cevipapa. (2005). Centro De Desarrollo Tecnológico De La Cadena Agroalimentaria De La Papa “Cevipapa” Papa Criolla, 1–29.
- Coello Ortiz, C. V., & Garcés Barcia, C. C. (2010). *Análisis de Propiedades Térmicas durante Gelatinización en tres variedades de arroz INIAP aplicando el Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC)*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad.
- Enriquez C, M., Velasco M, R., & Fernandez Q, A. (2013). Caracterización de almidones de yuca nativos y modificados para la elaboración de empaques biodegradables. *Bioteología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 2(2), 21–30.
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (1999). Análisis físicoquímico del almidón (Vol. 140).
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2017). *FAOSTATS Potato*. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- FEDEPAPA. (2009a). *Recopilación de la Investigación del sistema productivo papa criolla*. Bogotá D.C.
- FEDEPAPA. (2009b). *Recopilación de la Investigación del sistema productivo papa criolla*. Bogotá D.C.
- García Taín, Y., García Pereira, A., Hernández Góme, A., & Pérez Padrón, J. (2011). Estudio de la variación del Índice de Color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(4), 12–16.
- Garnica, A. M., Romero, A. R., Cerón, M. D. S., & Prieto Contreras, 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. Retrieved from <http://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/1/10>
- Gomez, A. B. (2004). *ANALISIS DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA PAPA CRIOLLA EN COLOMBIA. Trabajo de grado para optar el título de Administradoras De Empresas Agropecuarias.*
- Gómez, T., López, J., Pineda, R., Galindo, L., Isaza, R., & Morales, J. (2012). Caracterización Citogenética de Cinco Genotipos de Papa Criolla, *Solanum phureja* (Juz. et Buk.). *Fac.Nal.Agr.Medellín*, 65(1), 6379–6387.
- Gomez Susa, A. B. (2004). *ANALISIS DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA PAPA CRIOLLA EN COLOMBIA. Trabajo de grado para optar el título de Administradoras De Empresas Agropecuarias.* Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract>
- Gorosquera, E. F., García Suárez, F. J., Flores Huicochea, E., Núñez Santiago, M. C., González Soto, R. A., & Bello Pérez, L. A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de platano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55, 86–90.
- Grace, M. (1997). Elaboración de la yuca. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación – FAO.*, 116.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência E Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718–726. <http://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Karim, A. A., Toon, L. C., Lee, V. P. L., Ong, W. Y., Fazilah, A., & Noda, T. (2007). Effects of

- phosphorus contents on the gelatinization and retrogradation of potato starch. *Journal of Food Science*, 72(2), 132–139. <http://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00251.x>
- Kaur, A., Singh, N., Ezekiel, R., & Singh, H. (2007). Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry*, 101, 643–651.
- Ligarreto, G. A., & Suarez, M. N. (2003a). Informe De Resultados (pp. 1–11).
- Ligarreto, G. A., & Suarez, M. N. (2003b). Informe de resultados: Pruebas de evaluación agronómica (PEA) de genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja) para la región natural andina, subregión natural Nudo de los Pastos. In *Grupo de Investigación en Papa Línea: mejoramiento genético de papa a nivel diploide* (pp. 1–11). Bogotá D.C. Retrieved from <http://repositoriodigital.academica.mx/jspui/handle/987654321/381253>
- Manchola R., B. V. (2012a). *Caracterización fisicoquímica y reológica de almidones nativos de cinco clones promisorios de papa criolla cosechados en el Municipio de Granada*. UNIVERSIDAD DE LA SALLE.
- Manchola R., B. V. (2012b). *Caracterización fisicoquímica y reológica de almidones nativos de cinco clones promisorios de papa criolla cosechados en el Municipio de Granada*. UNIVERSIDAD DE LA SALLE.
- Martínez, P., Málaga, A., Betalleluz, I., Ibarz, A., & Velezmoro, C. (2015). Functional characterization on native starch of Peruvian native potatoes (*Solanum phureja*). *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 291–301. <http://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.06>
- Mendoza, R., & Herrera, A. O. (2012). Cinética de Inactivación de la Enzima Peroxidasa, Color y Textura en Papa Criolla (*Solanum tuberosum* Grupo phureja) sometida a tres Condiciones de Escaldado. *Información Tecnológica*, 23(4), 73–82. <http://doi.org/10.4067/S0718-07642012000400009>

- Offner, A., Bach, A., & Sauvant, D. (2003). Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 106(1), 81–93.
[http://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00038-5](http://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00038-5)
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2011). *Determinación del contenido de amilosa. ISO 6647-1*. (2nd ed.). Suiza: ISO- Draft International Standard.
- Orozco, L. F., Franco, L. A. R., & Torres, J. M. C. (2013). Evaluation of the Heritability of Resistance to *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary in a Population of *Solanum phureja* Juz et Buk. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 66(1), 6833–6843.
- Ortega Florez, M. F. (2012). *La papa criolla y el mercado de estados unidos, japon y españa. la papa criolla y el mercado de estados unidos, japon y españa*. Bogotá D.C.
- Pacheco de Delahye, E., & Techeira, N. (2009). Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea Alata*). *Interciencia*, 34(4), 280–285.
- Peña, C., Restrepo-Sánchez, L.-P., Kushalappa, A., Rodríguez-Molano, L.-E., Mosquera, T., & Narváez-Cuenca, C.-E. (2015). Nutritional contents of advanced breeding clones of *Solanum tuberosum* group Phureja. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 76–82.
<http://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.038>
- R. dos Santos, T. P., Leonel, M., L. Garcia, É., L. do Carmo, E., & L. Franco, C. M. (2016). Crystallinity, thermal and pasting properties of starches from different potato cultivars grown in Brazil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 144–149.
 Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813015300933>
- Ramirez, L. M., & Zarate, L. M. (2012). *CARACTERIZACIÓN DE ALMIDÓN NATIVO DE CLONES PROMISORIOS DE PAPA CRIOLLA (Solanum phureja) PARA SU APLICACIÓN EN UN DERIVADO CÁRNICO*. UNIVERSIDAD DE LA SALLE.
<http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Rodríguez, E., Lascano, A., & Sandoval, G. (2012). Influencia De La Sustitucion Parcial De La Harina De Trigo Por Harina De Quinoa Y Papa En Las Propiedades Termomecánicas Y De Panificación De Masas., *I*(15), 199–207.
- Rodríguez, L. E., Ñustez, C. E., & Estrada, N. (2009). Criolla Latina, Criolla Paisa y Criolla Colombia, nuevos cultivares de papa criolla para el departamento de Antioquia (Colombia). *Agronomía Colombiana*, *27*(3), 289–303.
- Rodríguez Rozo, D., & Ramírez, L. N. (2011). La agroindustria de la papa criolla en Colombia. Situación actual y retos para su desarrollo. *Gest.Soc*, *4*(2), 17–30.
- Rojas Mercado, L. P., & Seminario Cunya, J. F. (2014). Productividad de diez cultivares promisorios de papa chaucha (*Solanum tuberosum*, grupo Phureja) de la región Cajamarca. *Scientia Agropecuaria [Online]*, *5*, 165–175. <http://doi.org/ISSN 2077-9917>
- Singh, J., & Singh, N. (2001). Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars. *Food Chemistry*, *75*(1), 66–67.
- St. Paul, M. (2000). American of American Association of cereal chemist. In *American Association of cereal chemist AACCC* (10th ed.).
- Tobón, N., Cerón, A., & Garcés. (2015). Análisis y modelamiento de la granulometría en la cáscara del café (*Coffea arabica* L .) variedad Castillo, *10*(2), 80–91.
- Vignoni, L. A., Césari, R. M., Forte, M., & Mirábile, M. L. (2006). Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. *Información Tecnológica*, *17*(6), 63–67. <http://doi.org/10.4067/S0718-07642006000600011>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz experimental del rendimiento de extracción de almidón.

Genotipos a seleccionar	
Factor	Variable Respuesta
Genotipo (G)	Rendimiento (%)
Chaucha Pura	XXX
Ñoña	XXX
Ratona Morada	XXX
Cachona	XXX
Curikinga	XXX
Criolla nn	XXX
Guaneña	XXX
Colombia	XXX
Latina	XXX
Jardinera	XXX

Donde X es la variable respuesta.

Fuente: Esta investigación

Anexo 2. Metodología para densidad aparente.

Materiales y equipos.

Balanza analítica con una precisión de 0,01 g, Probeta graduada de 250 mL, Embudo, Espátula y

Equipo de vibración de base de madera

Análisis

Densidad aparente del almidón suelto.

Pesar la probeta graduada vacía.

Adicionar cuidadosamente con una espátula la muestra de almidón a la probeta de 250 mL por medio de un embudo hasta que el volumen total sea libremente completado.

Densidad aparente del almidón suelto (g/mL) =

$$[(\text{peso probeta} + \text{almidón suelto}) (\text{g})] - \text{peso probeta vacía} (\text{g}) / 250\text{mL}$$

Fuente: (FAO, 1999)

Anexo 3. Metodología para acidez titulable y pH.

Materiales y equipos

Balanza analítica con una precisión de 0,01 g , Medidor de pH (rango de 0 a 14), Bureta de 25 ml, Erlenmeyers de vidrio de 250 mL, Balones volumétricos de 100, 200 mL, Probeta, Agitador magnético, Embudo, Soluciones tampón de pH 4,0 y 7,0, Hidróxido de sodio 0,1 M, Fenoltaleína 1 por ciento (p/v en etanol), Etanol y Agua destilada

Análisis

Medida del pH y calibrar el medidor de pH con las soluciones tampón pH 4,0 y pH 7,0, mezclar 20,0 g de almidón en base seca con 100 mL de agua destilada (previamente hervida para eliminar el CO₂) durante 15 minutos, filtrar a través de un papel filtro Whatman N°1, tomar una alícuota y medir el pH con una cifra decimal

Medida de la acidez total Tomar 50 mL del filtrado y titular con hidróxido de sodio 0,1 N utilizando fenolftaleína como indicador.

Cálculos e interpretación de los resultados $N_a \times V_a = N_b \times V_b$

donde:

N_a = normalidad del ácido; V_a = volumen del ácido

N_b = normalidad de la base (NaOH); V_b = volumen de la base

Fuente: (FAO, 1999).

Continuación.

Factor	Propiedades fisicoquímicas del almidón						
Almidón nativo	Granulometría						
	Parámetros de modelado de Rosin Rammler (R-R)				Ajuste del modelado (R-R)		
	Diámetro Dp (mm)	Masa retenida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	Coefficiente de correlación de (r²)	Coefficiente de uniformidad (n)	Constante (b)
Latina	X	X	X	X	X	X	X
Latina	X	X	X	X	X	X	X
Latina	X	X	X	X	X	X	X
Jardinera	X	X	X	X	X	X	X
Jardinera	X	X	X	X	X	X	X
Jardinera	X	X	X	X	X	X	X
Colombia	X	X	X	X	X	X	X
Colombia	X	X	X	X	X	X	X
Colombia	X	X	X	X	X	X	X

Donde X es la variable respuesta.

Fuente: Esta investigación.

Anexo 5. Metodología para Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento.

Materiales y equipos.

Balanza analítica con una precisión de 0,01 g

Baño con calentamiento constante, Centrífuga y Tubos de centrífuga plásticos de 50 mL, Vasos de precipitado de vidrio de 50 mL, Horno con temperatura constante, Pipeta volumétrica de 10 mL y Pipeteador de 30 mL

Análisis

Pesar tubos de centrifuga secos a 60 °C.

Pesar en los tubos 1,25 g de almidón (bs), agregar exactamente 30 mL de agua destilada precalentada a 60 °C y agitar (sin excederse)

Colocar en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos; agitar la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento

Centrifugar a temperatura ambiente a 4 900 RPM durante 30 minutos.

Decantar el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar (máximo un minuto después) y medir el volumen.

Tomar 10 mL del sobrenadante y colocar en un vaso de precipitados de 50 mL (previamente pesado).

Secar el sobrenadante en un horno durante toda la noche a 70 °C.

Pesar el tubo de centrifuga con el gel. y Pesar el vaso de precipitados con los insolubles.

Cálculos e interpretación de los resultados

Índice de absorción de agua (IAA) = $\text{Peso del gel (g)} / \text{Peso muestra (g) bs}$

Índice de solubilidad en agua (ISA) = $\text{Peso solubles (g)} \times V \times 10 / \text{Peso muestra (g) bs}$

Poder de hinchamiento (PH) = $\text{Peso del gel (g)} / \text{Peso muestra (g) bs} - \text{Peso solubles (g)}$.

Fuente: (FAO, 1999).

Continuación.

Factor	Propiedades funcionales del almidón			
Almidón nativo	Análisis de perfil amilográfico			Fuerza máxima de fractura del gel formado
	Temperatura de viscosidad máxima	Viscosidad máxima	Período final de enfriamiento	Fuerza de fractura (N)
Latina	X	X	X	X
Latina	X	X	X	X
Latina	X	X	X	X
Jardinera	X	X	X	X
Jardinera	X	X	X	X
Jardinera	X	X	X	X
Colombia	X	X	X	X
Colombia	X	X	X	X
Colombia	X	X	X	X

Continuación

Factor	Propiedades funcionales del almidón			
Almidón nativo	Análisis de variables térmicas por (DSC)			
	Temperaturas de gelatinización			Entalpia de gelatinización (ΔH)
	Temperatura de inicio (T_o)	Pico de temperatura (T_p)	Temperatura final (T_c)	
Latina	X	X		X
Latina	X	X		X
Latina	X	X		X
Jardinera	X	X		X
Jardinera	X	X		X
Jardinera	X	X		X
Colombia	X	X		X
Colombia	X	X		X
Colombia	X	X		X

Donde X es la variable respuesta.

Fuente: esta investigación.