

Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla

Juan G. Solarte-Montúfar¹, Anderson E. Díaz-Murungal¹, Oswaldo Osorio-Mora¹ y Diego F. Mejía-España^{*1}

(1) Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Colombia
(e-mail: jgsolarte77@hotmail.com; andever21@hotmail.com; osorio_oswaldo@udenar.edu.co;
diegomejiaes@udenar.edu.co)

* Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia.

Recibido Dic. 5, 2018; Aceptado Ene. 25, 2019; Versión final Mar. 5, 2019, Publicado Dic. 2019

Resumen

Este trabajo tuvo por objetivo determinar algunas propiedades reológicas y funcionales de almidones procedentes de dos variedades de papa nativa (*Solanum phureja*) de nombres Colombia y Jardinera y de la variedad mejorada, Latina. Se estudiaron seis propiedades funcionales: contenido de amilosa, índices de absorción de agua, índice de solubilidad en agua, poder de hinchamiento, sinéresis, fuerza de fractura del gel (dureza). También, se determinaron cinco parámetros reológicos: temperatura de viscosidad máxima, temperatura de formación de pasta, viscosidad máxima, y periodos de rompimiento y recuperación de la viscosidad. Los datos se trataron mediante un diseño unifactorial categórico completamente aleatorizado. Los porcentajes de amilosa oscilaron entre 24.82% y 26.27%. También se presentaron valores de viscosidad considerablemente altos, con un máximo de 7202 mPa·s para la variedad Latina. Los almidones provenientes de estas tres variedades de papa criolla presentaron propiedades reológicas y funcionales atractivas que sugieren un potencial para fines industriales.

Palabras clave: *Solanum phureja*; *almidón*; *propiedades funcionales*; *parámetros reológicos*; *diseño unifactorial*

Rheological and Functional Properties of the Starch from Three Varieties of Creole Potato

Abstract

The objective of this work was to determine some rheological and functional properties of starches from two varieties of native potato (*Solanum phureja*) named Colombia and Jardinera and the improved variety, Latina. Six functional properties were determined: amylose content, water absorption index, water solubility index, swelling power, syneresis, and gel fracture force (hardness). Also, five rheological parameters were determined: temperature of maximum viscosity, pasta formation temperature, maximum viscosity, and periods of breaking and recovery of viscosity. The data were treated by a completely randomized categorical unifactorial design. The amylose percentages ranged between 24.82% and 26.27%. Viscosity values were also considerably high, with a maximum of 7202 mPa·s for the Latina variety. The starches from these three varieties of criolla potato presented attractive rheological and functional properties that suggest a potential for industrial purposes.

Keywords: *Solanum phureja*; *starch*; *functional properties*; *rheological properties*; *unifactorial design*

INTRODUCCIÓN

En Colombia la papa (*Solanum tuberosum*) es considerada un producto básico para la población debido a su elevado consumo (61,4 kg per cápita/año) y alta cantidad de superficie cultivada, con más de 140.000 hectáreas sembradas en 2014 y una producción estimada de 2.157.568 toneladas (Cerón et al., 2018). De acuerdo con Buchely et al. (2011), el departamento de Nariño, al sur de Colombia, se destaca en la producción de papa por disponer de condiciones agroecológicas favorables para su cultivo. Así mismo, este producto agrícola es el medio de sustento de muchas familias de la región, genera miles de empleos directos e indirectos y se considera el eje central de la producción de cultivos de clima frío (Insuasty et al., 2008).

Debido a la tradición agrícola del departamento de Nariño y a su localización geográfica en la región andina de Colombia, es posible encontrar un gran número de variedades nativas de papa que se siembran a pequeña escala. La mayoría de estas variedades nativas pertenecen al grupo de la denominada papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*), una especie diploide que representa aproximadamente 10.000 hectáreas de la totalidad de la papa sembrada en el país y 132.323 de toneladas a la producción total (Cerón et al., 2018). Posee además características diferenciales valiosas desde el punto de vista culinario y nutricional, debido a su alto contenido de vitaminas (complejo C y B), minerales (potasio, magnesio, calcio, fósforo y hierro), fibra, aminoácidos esenciales (lisina, metionina, triptófano) y compuestos con potencial antioxidante como el ácido ascórbico, α -tocoferol, carotenoides, diferentes polifenoles y ácidos fenólicos como el ácido clorogénico. (Gómez et al., 2012; Eun-Jung y Hyun-Seok, 2015; Velásquez et al., 2017; Cerón et al., 2018). Fuera de Colombia la papa criolla es considerada como un producto innovador y en el interior de este país es un producto básico para la seguridad alimentaria.

Sin embargo, según Bonierbale et al. (2004) la cadena productiva de la papa criolla está limitada por bajo grado de transformación industrial y por consiguiente la falta de incorporación de valor agregado. Entre los procesos industriales que se generan alrededor de este cultivo, se destaca la extracción de almidón, una macromolécula que conforma la reserva de carbohidratos más abundante en plantas, encontrándose principalmente en cereales (40 a 90%), raíces (30 a 70%), tubérculos (65 a 85%), verduras (25 a 50%) y algunos frutos inmaduros como plátanos y mangos, los cuales contienen aproximadamente 70% de almidón en peso seco (Alcázar y Almeida, 2015; Smith, 2001). Los almidones poseen diversas aplicaciones: en la industria alimentaria se utilizan como insumo para impartir textura y consistencia y en el campo no alimentario se utilizan para el refuerzo de telas, como adhesivo y aglutinante, como agente de encolado (pulido, brillo y firmeza) en la industria textil, en pinturas, lacas y barnices, como sustrato de fermentación, entre otros; de igual forma, en la actualidad se realizan investigaciones sobre su uso como sustitutos de grasas en alimentos bajos en calorías, y como componente de materiales termoplásticos y empaques biodegradables (Costas, 2009; Mendoza y Herrera, 2012; Lizarazo et al., 2015).

El almidón de papa es un insumo importante en la elaboración de alimentos siendo materia prima en esta industria por sus características de baja temperatura de gelatinización, baja tendencia a retrogradarse, resistencia a la degradación enzimática, bajo contenido residual de grasas y proteínas (< 0.5% de los gránulos). Adicionalmente, no tiene sabor a cereal y posee una alta viscosidad y capacidad para enlazarse con agua, características que son directamente atribuidas a su estructura (Pardo et al., 2013).

La caracterización de los almidones es fundamental si se quiere buscar un aprovechamiento industrial a los mismos, pues existe una gran variabilidad en sus propiedades, relacionada con diversos factores, tales como la fuente biológica de procedencia, la calidad del suelo y las condiciones climáticas del área de cultivo (Aldana et al., 2005). Estos estudios de caracterización permiten dilucidar los usos más prometedores para cada almidón y descartar aquellos para los cuales sus características sean indeseables.

Esta investigación tuvo como objetivo determinar y comparar algunas propiedades reológicas y funcionales de almidones extraídos de dos variedades de papa nativa (*Solanum phureja*), llamadas Colombia y Jardinera y una variedad mejorada de nombre Latina, con el fin de contribuir a ampliar la información de estas variedades poco estudiadas, y así aportar información útil en que ayude en su eventual industrialización y/o comercialización.

METODOLOGÍA

Los tubérculos de las 3 variedades fueron cultivados en la granja experimental Botana de la Universidad de Nariño ubicada a 9 km de la ciudad de Pasto (2820 msnm, temperatura promedio de 12°C y precipitación anual de 967 mm). Inmediatamente después de la cosecha, los tubérculos se lavaron, seleccionaron y clasificaron, escogiendo para este trabajo únicamente muestras de primera categoría, de acuerdo con lo establecido en la norma técnica colombiana NTC 341, (2003). La extracción de los almidones y el resto de las pruebas se realizaron con equipos a escala de laboratorio.

Contenido de amilosa

El contenido de amilosa de los almidones se determinó de acuerdo con la metodología ISO 6647-2 (2011), utilizando el método de colorimetría de yodo estandarizado. La amilosa de papa que se usó como patrón para generar la curva de calibración fue suministrada por la compañía biotecnológica Sigma Aldrich (St Louis, MI, USA). La absorbancia de la mezcla de almidón y yodo se leyó a 620 nm utilizando un espectrofotómetro Konica Minolta, modelo CM-5, de fabricación japonesa.

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

Se adaptó la metodología descrita por Martínez et al. (2015), junto con la metodología recomendada por Aristizábal y Sánchez (2007), para el análisis fisicoquímico del almidón de yuca. 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 (Memmert, modelo WNB, fabricación alemana). Después de reducir la temperatura de las muestras hasta 25 °C, sumergiendo los tubos cerrados en un recipiente con agua y hielos, estas se centrifugaron a 4900 rpm por 30 min (Centrífuga Refrigerada Dynamica, modelo Velocity 18R, fabricación inglesa). Luego, se separó el sobrenadante para cuantificar el porcentaje de solubles y de gel formado. Los sobrenadantes se colocaron en cápsulas y fueron llevados a un horno convector (Piron, PF6004CTD, fabricación italiana) a 70 °C por 12 horas. Para calcular el IAA, el ISA y el PI se utilizaron las ecuaciones (1), (2) y (3) respectivamente:

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \quad (1)$$

$$ISA = \frac{\text{Peso de solubles (g)} \times \text{Volumen del sobrenadante (mL)} \times 10}{\text{Peso de la muestra (g)}} \quad (2)$$

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

Análisis de perfil amilográfico

Se utilizaron los métodos aprobados de la American Association of Cereal Chemist (St. Paul, 2000) para determinar los perfiles de viscosidad de las dispersiones de almidón, empleando un reómetro Anton Paar (modelo MCR 302 de fabricación austriaca) con el accesorio Starch Cell. Se prepararon suspensiones de almidón al 4% (2 g de almidón/ 50ml de agua) para determinar los perfiles de viscosidad de los almidones usando un ensayo estándar de 23 min, que implicó: equilibrio inicial a 50°C durante 1 min, calentamiento de 50 °C a 95 °C durante 7.5 minutos; se mantuvieron las muestras a 95 °C durante 5 min; enfriamiento de 95 °C a 50 °C durante 7.5 min, y finalmente las muestras se mantuvieron a 50 °C durante 2 min.

Se determinaron diversos parámetros, tales como la temperatura de viscosidad máxima, temperatura de formación de pasta, viscosidad máxima de la muestra (Vm), y periodos de rompimiento y recuperación de la viscosidad de disoluciones de almidón de las variedades estudiadas.

Sinéresis

Se empleó la metodología de Kaur et al. (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 (Memmert, modelo WNB, fabricación alemana); 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 Refrigerada Dynamica, modelo Velocity 18R, fabricación inglesa) a 3000 rpm por 15 min.

Fuerza máxima de fractura del gel formado (Dureza)

Se realizó en base a la metodología planteada por Casas y Pardo (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 (0.16 mm/s) y una precarga de 0.1N. Los recipientes utilizados para depositar los geles fueron portamuestras plásticos de 35 mm de altura y 47 mm de diámetro. El equipo utilizado fue un Texturómetro fabricado por Lloyd Instruments, modelo TX1 IS1, de origen británico, con celda de carga de 250 Newton (N). Los datos de las punciones realizadas se capturaron en el software NEXYGEN Plus.

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 dos (2) genotipos de papa nativa (*Solanum phureja*), Jardinera y Colombia y la variedad mejorada Latina, sobre sus propiedades funcionales y reológicas (contenido de amilosa, poder de hinchamiento (PI), índice de solubilidad en agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA), sinéresis, y fuerza máxima de fractura del gel formado), en el caso del análisis de perfil amilográfico, este se llevó a cabo por duplicado para cada almidón. El análisis de datos del diseño experimental se realizó con el programa Statgraphics © Plus Centurión XVII, elaborando un análisis de varianza y una comparación de las muestras a través del método de la diferencia menos significativa (LSD) de Fisher para variables múltiples, 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.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se describen los resultados obtenidos y el análisis de los mismos para las propiedades funcionales y reológicas de los tres almidones estudiados.

Contenido de amilosa

Las evaluaciones de contenido de amilosa, realizadas a las muestras por triplicado a través de la prueba de múltiples rangos, mostraron que los almidones presentaron diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), siendo los porcentajes más altos de amilosa para las variedades Jardinera y Latina con un valor promedio de 26.27 ± 0.24 % y 25.97 ± 0.24 % respectivamente. Por su parte, el almidón de la variedad Colombia obtuvo el menor porcentaje de amilosa con un contenido promedio de 24.82 ± 0.11 %. Estos resultados fueron superiores a los reportados por Aristizábal y Sánchez (2007), para el contenido promedio de amilosa en papa común, arroz y yuca con un 20%, 19% y 17% respectivamente. Así mismo estos resultados fueron muy superiores a los reportados por Lizarazo et al. (2015) para seis variedades de papa, con valores de amilosa entre 9.34% y 18.64%.

Las propiedades funcionales y reológicas de los almidones dependen en gran medida de la relación amilosa/amilopectina, biopolímeros de diferente estructura molecular que constituyen casi la totalidad del gránulo. En los distintos cultivos amiláceos esta relación suele ser constante, si bien cambia de una variedad a otra dentro de la especie y también entre plantas de la misma variedad (Aristizábal y Sánchez, 2007). El contenido de amilosa está asociado al proceso de gelificación de agregados de cristales de almidón. Estos agregados generan texturas gelatinosas que aumentan su rigidez dependiendo de la proporción amilosa/amilopectina. Almidones con predominancia de amilopectina pueden volverse más cohesivos. Estos agregados difieren significativamente entre los almidones de diferentes fuentes (Taggart, 2004). Según Aristizábal y Sánchez (2007), el valor del contenido de amilosa en un almidón es el factor determinante para la calidad de los alimentos terminados, pues valores altos en de la misma favorecen una mayor solubilidad, mayor viscosidad, mejor claridad del engrudo y mayor tendencia a la retrogradación de los geles. En base a lo anterior se infiere que un alto contenido de amilosa, como el presentado por estos almidones, es deseable en la elaboración de diversos productos alimenticios.

La retrogradación hace referencia al comportamiento de recristalización de almidones gelatinizados durante el enfriamiento y el almacenamiento, proceso acompañado por el endurecimiento y la filtración de agua del gel de almidón (sinéresis) (Lian et al., 2014). Para Won et al. (2017) la retrogradación es un problema importante en el uso del almidón como aditivo alimentario durante el procesamiento y la conservación, pues a medida que pasa el tiempo, la textura y de más propiedades físicas del alimento se deterioran. El grado de retrogradación depende de varios factores, como el tipo de almidón y su concentración y la temperatura de almacenamiento. Según Bergthaller (2004) la proporción entre amilosa y amilopectina, así como las variaciones moleculares de las mismas, también influyen sobre la claridad u opacidad de las soluciones o sistemas alimenticios líquidos en los que los almidones sean usados como aditivos. 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 (Taggart, 2004), por tanto, un alto contenido de la misma se convierte en una característica deseable en este tipo de productos. Los resultados obtenidos por los 3 almidones evaluados, en especial por las variedades Jardinera y Latina, sugieren una utilidad potencial como aditivos en este ámbito.

Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PI)

Los resultados obtenidos mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las distintas variedades. Los IAA de los almidones 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, situándose en el rango de 5.20 a 6.74 g de gel/g de muestra a una temperatura de 60°C y entre 7.93 y 9.28 g de gel/g de muestra para el resto de temperaturas evaluadas. Individualmente, se observó un valor de IAA estadísticamente mayor a una temperatura de 60°C para el almidón de la variedad Colombia respecto a la variedad Jardinera.

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 los almidones de las tres variedades. Por su parte, los resultados más bajos se presentaron a la temperatura de preparación de 60 °C para las muestras de almidón de todas las tres variedades con valores promedio de 0.86 a 1.09 g soluble/ g muestra. A una temperatura de 80° C el ISA de la variedad Colombia fue estadísticamente mayor que el de las otras dos variedades.

Finalmente, los resultados obtenidos para el poder de hinchamiento de los almidones oscilaron entre 5.24% a 9.45%. Todas las variedades obtuvieron valores de PI 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%. Sin embargo, individualmente, la variedad Colombia presentó valores de PI estadísticamente superiores que la variedad Jardinera a una temperatura de 60°C. Estos resultados se detallan en la Tabla 1, que muestra las medias según el diseño de diferencias menos significativas (LSD de Fisher) para cada variedad. Los almidones que comparten la misma letra de índice para determinada propiedad no presentan diferencia estadísticamente significativa entre ellos ($p < 0.05$).

Tabla 1. Índices de absorción de agua, solubilidad en agua y poder de hinchamiento de los almidones

Temperatura (°C)	Propiedad								
	IAA (g de gel/ g de muestra)			ISA (g de soluble/ g de la muestra)			PI (%)		
	Colombia	Jardinera	Latina	Colombia	Jardinera	Latina	Colombia	Jardinera	Latina
60	6.75± 0.14 ^a	5.20± 0.18 ^b	5.80± 0.05 ^{ab}	0.87± 0.12 ^a	1.08± 0.12 ^a	1.09± 0.03 ^a	6.82± 0.13 ^b	5.24± 0.18 ^a	5.84± 0.05 ^{ab}
70	7.93± 0.59 ^c	8.61± 0.55 ^{cd}	7.99± 0.18 ^c	1.79± 0.08 ^b	1.80± 0.17 ^b	1.61± 0.10 ^b	8.07± 0.61 ^c	8.66± 0.56 ^{cd}	8.03± 0.18 ^c
80	8.10± 0.62 ^c	8.67± 0.95 ^{cd}	8.78± 0.27 ^{cd}	2.24± 0.10 ^c	1.81± 0.12 ^b	1.73± 0.17 ^b	8.14± 0.51 ^c	8.74± 0.96 ^{cd}	8.87± 1.30 ^{cd}
90	8.69± 0.50 ^{cd}	9.29± 1.26 ^d	8.79± 1.29 ^{cd}	3.69± 0.52 ^{de}	3.38± 0.27 ^d	3.93± 0.35 ^e	8.77± 0.51 ^{cd}	9.46± 1.29 ^d	8.96± 0.27 ^{cd}

Los valores obtenidos de IAA, ISA y PI son similares a los reportados por Garnica et al. (2010) con valores promedio a 60°C, 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. Aristizábal y Sánchez, (2007) indican 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 estos sitúan los valores de referencia establecidos, los cuales son: para el índice de absorción de agua entre 0.82 y 15.52 g gel/g muestra, el índice de solubilidad en agua entre 0.27 y 12.32 g solubles /g muestra y el poder de hinchamiento entre 0.79% y 15.45%.

El poder de hinchamiento, el índice de absorción de agua y solubilidad en la misma, se determinan 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 (Aristizábal y Sánchez, 2007). Según Rodríguez et al. (2012) los altos alto PI, ISA e IAA de los almidones de papa con respecto a almidones de otra procedencia biológica, se deben 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.

Sinéresis

De acuerdo con el análisis de varianza, se determinó que existe diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en cuanto al porcentaje de sinéresis de los geles de almidón. Como se puede evidenciar en la Figura 1, el porcentaje de sinéresis de todos los geles de almidón aumentó progresivamente durante el paso de los días de almacenamiento. Se presentó un incremento estadísticamente significativo de exudación de líquido entre los días 1 y 2 para las tres variedades, sin embargo, 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). Por otra parte, el gel de la variedad mejorada 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 ligeramente superiores 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, fenómenos derivados del proceso de retrogradación. La sinéresis puede entenderse como una indicación de cambios intensivos en la estructura de gel. Con respecto a las preparaciones alimenticias, tales cambios son altamente indeseables en productos que requieren estabilidad congelación-descongelación como lo son los derivados cárnicos y productos vegetarianos que tratan de emularlos usando el almidón en sus formulaciones por su capacidad de hinchamiento y retención de agua (Taggart, 2004). De acuerdo con Aristizábal y Sánchez (2007), 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.

De lo anterior podría inferirse que el alto porcentaje de sinéresis que presentaron los geles de almidón de las tres variedades está relacionado con su elevado contenido de amilosa. Por tal razón, no se recomienda su aplicación como aditivo en productos cárnicos, los cuales requieren una gran estabilidad en temperaturas de refrigeración.

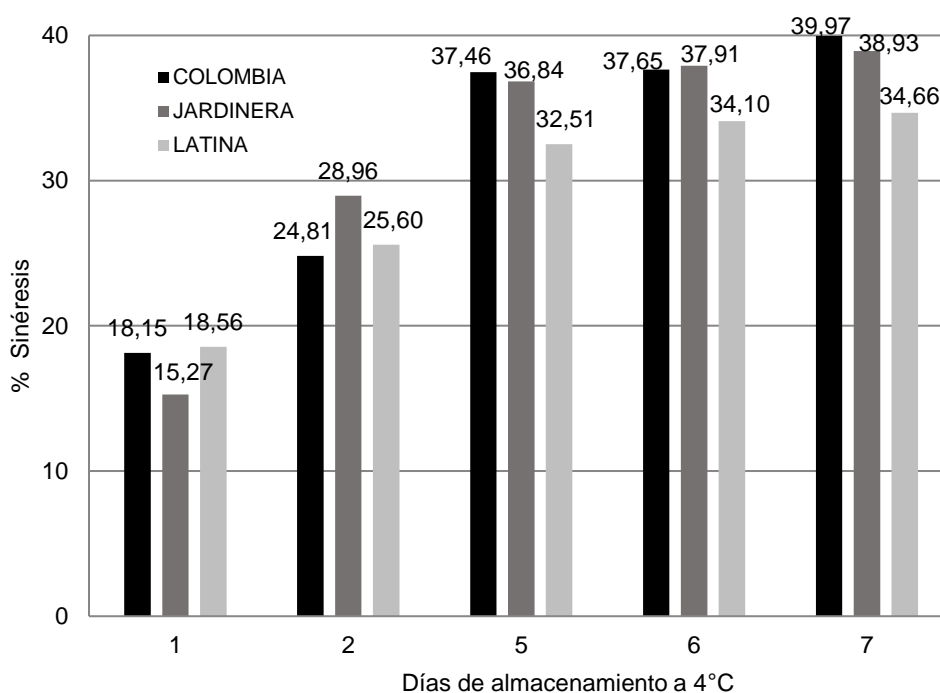


Fig. 1. Evolución del porcentaje de sinéresis para las pastas de almidón almacenados a temperatura de refrigeración

Análisis de perfil amilográfico

Este análisis permitió identificar parámetros relevantes como la temperatura de viscosidad máxima, temperatura de formación de pasta, viscosidad máxima de la muestra (V_m), y periodos de rompimiento y recuperación de la viscosidad. Estos resultados se observan en la Tabla 2, donde los almidones que comparten la misma letra de índice en determinada propiedad, no presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos ($p < 0.05$). Los resultados fueron obtenidos mediante dos corridas en el proceso de formación de las pastas de almidón, de tal manera que se presentaron dos valores de viscosidad máxima por cada variedad y se mostró un promedio de los mismos; de acuerdo con Enríquez et al. (2013), dichas pequeñas variaciones en los parámetros de una misma variedad podrían atribuirse a una distribución amplia de tamaños de gránulos de almidón.

El almidón de la variedad Latina fue aquel que obtuvo la viscosidad máxima más alta con un valor promedio de 7202 mPa·s, seguido de las variedades Colombia y Jardinera con valores promedio de 5102 mPa·s y 3725.5 mPa·s respectivamente. Los anteriores valores son semejantes a los reportados por Martínez et al.

(2015), con valores de pico de viscosidad de 5268 mPa·s y 9107 mPa·s para suspensiones de almidón de las variedades de papa nativa PER y SOL respectivamente; sin embargo, estos mismos autores reportaron valores de viscosidad máxima para almidón de algunas variedades nativas muy superiores a los encontrados por este estudio, con datos de hasta 333080 mPa·s en el caso de la variedad CO. Adicional a ello, Garnica et al. (2010), encontraron viscosidades máximas promedio de 5323 mPa·s para suspensiones de almidón de 17 clones promisorios de papa nativa.

En la industria alimentaria, donde muchos productos son sometidos a la acción del calor durante el procesamiento, el almidón experimenta cambios físicos y estructurales. Las diferentes transformaciones que ocurren dependen de la cantidad de agua presente en el sistema, la temperatura y la razón del flujo calorífico que se le suministra durante el proceso. Cuando el almidón es hidratado y calentado, se observan los cambios mencionados, los cuales influyen de manera considerable en la calidad del producto final, por ejemplo, en la fabricación de pan y bebidas (Meano et al., 2016). De aquí la importancia de buscar almidones resistentes a las variaciones térmicas y procesos de cizallamiento a los que puedan ser sometidos.

Para Bergthaller (2004), el perfil amilográfico de los almidones de papa se caracteriza por una alta consistencia en la gelificación seguida por una disminución en la viscosidad después de un calentamiento y agitación adicionales, además de una baja temperatura de gelatinización y una excelente formación de película, flexible y con gran fuerza de adhesión. Almidones de este tipo, capaces de formar pastas altamente viscosas, dispersan eficazmente los ingredientes en mezclas de alimentos impartiendo textura y consistencia, favoreciendo su empleo en la elaboración de postres, pudines, rellenos, sopas, gelatinas, compotas y de más alimentos espesos, tal como lo explican Aristizábal y Sánchez, (2007). Según su investigación, el almidón de 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 pues tienen mayor capacidad de absorción de agua, mayor velocidad de hidratación (debida a los grupos ésteres fosfato característicos) y se desintegran rápidamente; así lo corroboran Won et al. (2017) quienes reportan valores de viscosidad pico de 165 mPa·s para almidones nativos de maíz híbrido y valores de 135 mPa·s para almidones modificados (acetilación) de esta misma procedencia. La viscosidad máxima cae rápidamente durante el mantenimiento de la temperatura, debido a la ruptura de los gránulos de almidón, siendo dicho descenso en la viscosidad el resultado de las fuerzas de cizallamiento aplicadas por los elementos de mezcla a altas temperaturas (Aristizábal y Sánchez, 2007; Bergthaller, 2004).

El almidón de la variedad nativa 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, ésta no presentó diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) entre las muestras de almidón de las tres variedades; sus valores promedios se situaron entre 1860.5 mPa·s y 2180 mPa·s. Además, los almidones de las variedades Latina y Jardinera registraron las viscosidades más altas al final del enfriamiento con valores de 4379 mPa·s y 3847.5 mPa·s respectivamente.

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 (T_g). Bajo tales condiciones, los gránulos se hinchan tangencialmente al principio y se desintegran bajo la formación de una dispersión coloidal (Bergthaller, 2004).

Según Sandhu et al. (2015) las propiedades de formación de pasta de los almidones están influenciadas por el tamaño, la rigidez, el poder de hinchamiento y la relación de amilosa a amilopectina de los gránulos. Enríquez et al. (2013), coinciden en este último punto, pues sostienen que 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 debido a los enlaces alfa-1-4. De igual manera, las condiciones de cultivo también tienen una influencia significativa en la viscosidad de las suspensiones de almidón (Martínez et al., 2015).

Con respecto a las temperaturas de formación de pasta, las variedades Jardinera y Latina presentaron los mayores valores con 66.3 °C y 66.05 °C respectivamente, seguidas por la variedad Colombia con 62.3 °C.

Esta pequeña variación puede estar relacionada con el contenido de amilosa y la mayor estabilidad térmica que esta molécula otorga a las pastas con respecto a la amilopectina. Por otra parte, de acuerdo con Dos Santos et al. (2016) y Enríquez et al. (2013), un mayor contenido de amilosa puede conducir a una viscosidad de pico (viscosidad máxima) más baja y un desglose. Sin embargo, dicha correlación no se logró establecer mediante este trabajo investigativo, probablemente debido a que los contenidos de amilosa de los almidones de las tres variedades se sitúan en un rango muy estrecho.

Tabla 2. Parámetros amilográficos de los almidones de las variedades estudiadas

Parámetros Amilográficos	Variedad		
	Jardinera	Latina	Colombia
Temperatura De Viscosidad Máxima (°C)	89.4 ^a	80.8 ^b	82.8 ^b
Viscosidad Máxima (mPa·s)	3725.5 ^a	7202.0 ^b	5102.0 ^c
Inicio De Enfriamiento (mPa·s)	2180.0 ^a	2427.0 ^a	1860.5 ^a
Rompimiento (mPa·s)	1545.5 ^a	4775.0 ^b	3241.5 ^c
Periodo Final De Enfriamiento (mPa·s)	3847.5 ^a	4379.0 ^a	3165 ^b
Recuperación (mPa·s)	1769.0 ^a	1952.0 ^a	1304.5 ^b
Temperatura de Formación de Pasta (°C)	66.30±0.22 ^b	65.05±0.21 ^b	62.30±0.23 ^a

Fuerza máxima de fractura del gel formado (Dureza)

La dureza de los geles de almidón a diferentes concentraciones, presentó diferencias estadísticamente significativas tanto entre las tres variedades como entre el porcentaje de almidón en los geles, como se observa en la Tabla 3, donde los almidones que comparten la misma letra de índice, no presentan diferencia estadísticamente significativa entre los mismos ($p < 0.05$). Como consecuencia, 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 fue el que obtuvo la mayor dureza (4.5 N), casi el doble que el obtenido por la variedad mejorada Latina a la misma concentración; esto puede estar relacionado con un mayor contenido de amilosa por parte del almidón de la variedad Jardinera, puesto que se le ha atribuido a estas moléculas de cadena lineal, la formación de estructuras más rígidas debido a una mayor estabilidad con respecto a la amilopectina (Taggart, 2004).

Tabla 3. Dureza en Newtons de las pastas formadas por los almidones de las variedades estudiadas

Concentración De Preparación Del Gel (%)	Variedad		
	Colombia	Jardinera	Latina
	Dureza (N)	Dureza (N)	Dureza (N)
4	0.11±0.01 ^a	0.22±0.01 ^a	0.13±0.01 ^a
8	1.03±0.10 ^b	1.25±0.10 ^b	1.35±0.19 ^b
12	2.46±0.28 ^c	4.51±0.45 ^d	2.26±0.02 ^c

La resistencia de los geles formados es un indicativo importante en la industria emergente de las biopelículas, donde los almidones son algunos de los insumos naturales más utilizados (junto con la celulosa y el quitosano); dichas películas se pueden consumir junto con alimentos recubiertos y no contribuyen a la contaminación porque su degradación es más rápida que las películas sintéticas. La configuración lineal de los polímeros puede producir películas con propiedades flexibles, transparentes y resistentes al aceite; es por eso que se requieren almidones con un alto contenido de amilosa ($\geq 70\%$) debido a que la molécula de amilopectina no puede formar películas adecuadamente, pues su estructura ramificada imparte propiedades mecánicas pobres a la película, reduciendo su resistencia a la tracción y el alargamiento (Alcázar y Almeida, 2015).

Bergthaller (2004) explica que cadenas de amilosa de más de 1000 unidades de glucosa tienden a formar geles en lugar de cristalizar (solidificarse) y adicionalmente reporta 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 suele estar acompañado de una alta claridad, propiedad ventajosa y deseada en aplicaciones alimentarias, donde la claridad es especialmente deseada.

CONCLUSIONES

Los almidones provenientes de las variedades de papa estudiadas Jardinera, Latina y Colombia presentaron diferencias estadísticamente significativas en su contenido de amilosa, índices de absorción de agua (IAA) y solubilidad en agua (ISA), poder de hinchamiento (PI), sinéresis (en los días iniciales), dureza de gel, temperatura de formación de pasta y viscosidad máxima y temperatura de la misma. Así mismo, estos almidones presentaron propiedades reológicas y funcionales potencialmente útiles para la industria, principalmente en el campo alimentario.

El almidón de la variedad mejorada Latina mostró una alta viscosidad durante todo el amilograma, cualidad necesaria en almidones que se utilizarán como espesantes, impartiendo textura y consistencia en productos como natillas, compotas, pudines, sopas y salsas. Por su parte la variedad nativa Jardinera presentó el almidón con el mayor contenido de amilosa y temperatura de formación de pasta más alta, propiedades asociadas con una mayor resistencia a tratamientos térmicos, formación de películas más fuertes y reducción de absorción de aceite en la elaboración productos fritos o extruidos como snacks.

AGRADECIMIENTOS

La investigación se realizó en el marco del proyecto “Mejoramiento Tecnológico y Productivo del Sistema Papa en el Departamento de Nariño”, financiado por el Sistema General de Regalías FCTel - Gobernación de Nariño, con la colaboración del Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario GAIDA de la Universidad de Nariño.

REFERENCIAS

- Alcázar, S.C. y M.A. Almeida, Physicochemical Properties, Modifications and Applications of Starches from Different Botanical Sources. *Food Sci. Technol.*, 35(2), 215-236 (2015)
- Aldana, A.S., E.R. Sandoval y A. Fernández, Aplicación del Análisis por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) para la Caracterización de las Modificaciones del Almidón. *Dyna*, 72(146), 45–53 (2005)
- Aristizábal, J. y T. Sánchez, Guía Técnica para la Producción y Análisis de Almidón de Yuca., Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia (2007)
- Bergthaller, W., Developments in Potato Starches; en *Starch in Food* de Eliasson A. Woodhead Publishing Limited, pp. 373-402. Cambridge, England (2004)
- Bonierbale, M., W. Amoros, y otros cuatro autores, Recursos Genéticos de la Papa, Don del Pasado, Legado para el Futuro. Suplemento Revista Latinoamericana de La Papa, 3–14 (2004)
- Buchely, M., A. Cerón, A. Hurtado y O. Osorio, 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. *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 115–121 (2011)
- Casas, N. y D. Pardo, 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 (2005)
- Cerón-Lasso, M., A.F. Alzate-Arbeláez, B.A. Rojano, C.E. Nuztez-Lopez, Composición Físicoquímica y Propiedades Antioxidantes de Genotipos Nativos de Papa Criolla (*Solanum tuberosum* grupo *phureja*). *Información Tecnológica*, 29 (3), pp. 205-216 (2018)
- Costas, G.B., Structural Transitions and Related Physical Properties of Starch; en: *Starch: Chemistry and Technology*, de Miller, J. y R. Whistler, 3rd Ed. pp. 293-372. Academic Press, Oxford, UK (2009)
- Dos Santos, R., M. Leonel y otros tres autores, Crystallinity, Thermal and Pasting Properties of Starches from Different Potato Cultivars Grown in Brazil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82(C), 144–149 (2016)
- Enríquez, M., R. Velasco, y A. Fernández, Caracterización de Almidones de Yuca Nativos y Modificados para la Elaboración de Empaques Biodegradables. *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2(2), 21–30 (2013)
- Eun-Jung, K. y K. Hyun-Seok, Physicochemical Properties of Dehydrated Potato Parenchyma Cells with Ungelatinized and Gelatinized Starches. *Carbohydr Polym*, 117, 845-852 (2015)
- Garnica, A.M., A.R. Romero, M.D. Cerón y L. Prieto, 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 (2010)
- Gómez, T., J. López, y otros cuatro autores, Caracterización Citogenética de Cinco Genotipos de Papa Criolla, *Solanum phureja*. *Fac.Nal.Agr.Medellín*, 65(1), 6379–6387 (2012)
- Insuasty L., H. Burbano y J. Menjivar, Dinámica del Cadmio en Suelos Cultivados con Papa en Nariño, Colombia. *Acta Agronómica*, 57(1), 51-54 (2008)
- Kaur A., N. Singh, R. Ezekiel y H. Singh, Physicochemical, Thermal and Pasting Properties of Starches Separated from Different Potato Cultivars Grown at Different Locations. *Food Chemistry*, 101, 643–651 (2007)

- Lian, X., C. Wang, K. Zhang y L. Li, The Retrogradation Properties of Glutinous Rice and Buckwheat Starches as Observed with FT-IR, ¹³C NMR and DSC. *International Journal of Biological Macromolecules*, 64, 288-293 (2014)
- Lizarazo S., G. Hurtado y L. Rodríguez, Physicochemical and Morphological Characterization of Potato Starch (*Solanum tuberosum* L.) as Raw Material for the Purpose of Obtaining Bioethanol. *Agronomía Colombiana*, 33(2), 244-252 (2015)
- Martínez, P., A. Málaga y otros tres autores, Functional Characterization on Native Starch of Peruvian Native Potatoes (*Solanum phureja*). *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 291-301 (2015)
- Meano, N., A. Ciarfella y A. Dorta, Caracterización Morfológica y Perfil Viscoamilográfico del Almidón Nativo de Ñame Congo (*Dioscorea bulbifera* L.). *Saber*, 28(2), 250-256 (2016)
- Mendoza, R. y A. Herrera, 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 (2012)
- Organización Internacional de Normalización (ISO), Determinación del contenido de amilosa. ISO 6647-1. (2nd Ed.). Suiza: ISO- Draft International Standard (2011)
- Pardo, O., J.C. Castañeda y C.A. Ortiz, Caracterización Estructural y Térmica de Almidones Provenientes de Diferentes Variedades de Papa. *Acta Agronómica*, 62(4), 289-295 (2013)
- Rodríguez, E., A. Lascano y G. Sandoval, Influencia de la Sustitución Parcial de la Harina de Trigo por Harina de Quinoa y Papa en las Propiedades Termomecánicas y de Panificación de Masas. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 1(15), 199-207 (2012)
- Sandhu, K.S., L. Sharma y M. Kaur, Effect of Granule Size on Physicochemical, Morphological, Thermal and Pasting Properties of Native and 2-octenyl-1-ylsuccinylated Potato Starch Prepared by Dry Heating Under Different pH Conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 61(1), 224-230 (2015)
- Smith, A.M., The Biosynthesis of Starch Granules. *Biomacromolecules*, 2(2), 335-341 (2001)
- St. Paul, M., American of American Association of cereal chemist. *American Association of cereal chemist AACC*, 10ma Ed. (2000)
- Taggart, P., Starch as an Ingredient: Manufacture and Applications; en *Starch in Food* de Eliasson A. Woodhead Publishing Limited, pp. 253-270. Cambridge, England (2004)
- Velásquez, J. y V. Quintero, Physical-Chemical Characteristics Determination of Potato (*Solanum phureja* Juz. & Bukasov) starch. *Acta Agronómica*, 66(3), 323-330 (2017)
- Won, C., M. Kim y otros seis autores, Rheological, Pasting, Thermal and Retrogradation Properties of Octenyl Succinic Anhydride Modified Potato Starch. *Food Science and Technology*, 37(2), 321-327 (2017)