



## Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación

Functional properties of potato (*Solanum tuberosum*) starch and its chemical modification by acetylation

G. Vargas; P. Martínez\* ; C. Velezmoro

Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina. Av. La Molina s/n, La Molina, Lima 12, Perú.

Received May 15, 2016. Accepted July 19, 2016.

### Resumen

La papa (*Solanum tuberosum*) es una fuente de almidón importante que está subutilizada en el Perú, pues se importan principalmente los almidones de papa, pues no se ha logrado aún, que la industrialización de extracción de almidones sea un éxito. El presente trabajo tuvo como objetivo obtener, caracterizar y modificar, químicamente por acetilación, el almidón de una variedad comercial de papa, Única. La extracción se realizó con agua y la modificación química se realizó por acetilación mediante anhídrido acético a diferentes niveles (% v/w de almidón): 5, 10 y 15%. Se caracterizó el almidón nativo y almidón modificado: composición proximal, claridad, viscosidad aparente, estabilidad al congelamiento (sinéresis), y asimismo se midió el porcentaje de acetilación y el grado de sustitución. El rendimiento de extracción fue 16,5% y la viscosidad aparente del almidón nativo de papa fue 25000 mPa·s. Asimismo, se seleccionó el almidón acetilado con 15% de anhídrido acético para su aplicación en un helado crema debido a sus características funcionales. La viscosidad aparente del gel de almidón AAc 15% fue 5429 mPa·s. El porcentaje de acetilación varió de 0,44 a 1,26% y el grado de sustitución no excedió los niveles recomendados por FAO y JECFA. El almidón AAc 15% mostró el mejor perfil funcional para su aplicación como estabilizante y espesante en alimentos refrigerados.

**Palabras clave:** almidón nativo, almidón acetilado, sinéresis, viscosidad aparente, grupos acetilo.

### Abstract

The potato (*Solanum tuberosum*) is an important source of starch which is underused in Peru, as are mainly imported potato starch, for has not been achieved yet, industrialization starch extraction is a success. This study aimed to obtain, characterize and modify chemically by acetylation, starch of a commercial potato variety, Unique. Extraction was performed with water and chemical modification was performed by acetylation using acetic anhydride at different levels (% v/w starch): 5, 10 y 15%. Native starch and modified starch were characterized: proximate composition, clear gel, apparent viscosity and stability to the freeze, also the percentage of acetyl groups (GA) was measured. The extraction yield was 16.5% and the apparent viscosity of native potato starch was 25000 mPa·s. Also starch modified with 15% acetylation for application in a cream ice cream because of their functional characteristics was selected. The apparent viscosity of gels modified starch potato was 5429 mPa·s. Acetyl groups varied from 0.44 to 1.26 % and degrees of substitution did not exceed levels recommended by FAO and JEFCA. Starch AAc 15% showed the best functional profile for its application as stabilizer and thickener in refrigerated foods.

**Key words:** native starch, acetylated starch, syneresis, apparent viscosity, acetyl groups

### 1. Introducción

Uno de los alimentos más consumidos en sus diversas formas, derivados, y presentaciones en el mundo, es la papa, cuyo origen está en los andes peruanos

(Yaipén, 2013). El almidón, en la papa, constituye su principal fuente de almacenamiento de energía y su contenido varía según los cultivares y estado del crecimiento de la planta, y se encuentra en

\* Corresponding author

E-mail: [pmartinez@lamolina.edu.pe](mailto:pmartinez@lamolina.edu.pe) (P. Martínez).

© 2016 All rights reserved.

DOI: 10.17268/sci.agropecu.2016.03.09

el rango de 66 a 80% en base seca (Liu *et al.*, 2007), y además es el derivado más importante que se emplea a nivel industrial y doméstico. El almidón es muy utilizado en la industria alimentaria debido a sus propiedades tales como su baja temperatura de gelatinización y su baja tendencia a la retrogradación (Hoover, 2010). Las variaciones en las propiedades de los geles de almidón podrían ser causadas por diferentes factores, tales como el tamaño del gránulo de almidón (Zaidul *et al.*, 2007), contenido de fósforo y de amilosa (Kaur *et al.*, 2007), el complejo amilosa-lípido y la estructura de la amilopectina (Liu *et al.*, 2007). La modificación del almidón nativo (física o química) mejora sus propiedades, la cual es compleja e involucra muchos factores (temperatura, tiempo, tipo de tratamiento, entre otras), los que dependen del tipo de alimento en el cual se aplicará. Singh *et al.* (2004) sostienen que la acetilación es un método de sustitución, que implican la introducción de un grupo acetilo en la cadena principal de almidón polimérico. Bertonlini (2010), Bemiller y Whistler (2009) y Eliasson (2004) sostienen que la modificación por acetilación es la más idónea para alimentos congelados, mientras los almidones hidroxipropilados y pregelatinizados son de mejor aplicación en alimentos a temperatura de refrigeración. Bemiller y Whistler (2009) y Bertonlini (2010), describen que la reacción de acetilación se logra con el uso de anhídrido acético o acetato de vinilo. Además, afirman que el estudio de las propiedades de los almidones acetilados resulta de gran importancia debido a que sus potenciales usos industriales dependen de éstas. Con la intención de evaluar la posibilidad de uso del almidón nativo proveniente de esta variedad comercial, como ingrediente en la industria alimentaria, se planteó como objetivo de esta investigación fue modificar y caracterizar funcionalmente el almidón nativo por acetilación y determinar: la claridad, la estabilidad al congelamiento (sinéresis), el comportamiento reológico, la

viscosidad aparente, grupos acetilo y grado de sustitución.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Muestras

Almidón nativo fue extraído de una variedad comercial papa (*Solanum tuberosum*) var. Única, adquirida en el Programa de Raíces y Tuberosas de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Latitud: 12°4'35.72"S, Longitud: 76°56'38.9"W) (distrito La Molina, provincia Lima, región Lima, Perú).

### 2.2 Reactivos

Anhídrido acético (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>, CAS 108-24-7) e Hidróxido de sodio (NaOH, CAS 1310-73-2) fueron adquiridos de Merck® (Hohenbrunn, Germany). Ácido clorhídrico (HCl, CAS 7647-01-0), Sulfato de sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CAS 7757-82-6, pureza 99%) y Metabisulfito de sodio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CAS 007681-57-4) fueron adquiridos de Sigma Aldrich (St. Louis, MO, USA). En todos los casos se empleó agua destilada (pH ~ 7) para la preparación de los geles y de las soluciones, así como agua desionizada (pH ~ 7) cuando fue necesario.

### 2.3 Métodos

#### 2.3.1 Extracción del almidón

Se empleó la metodología de extracción por decantación descrita por Melian (2010) con algunas modificaciones basadas en Salwa *et al.* (2010) y Aprianita *et al.* (2009). En este estudio se emplearon 10 kg de papas, de los cuales se descartaron las impurezas y tubérculos dañados. El resto de los tubérculos intactos fueron lavados, pelados y cortados en trozos pequeños. Los trozos fueron molidos en un procesador (TH 9001, THOMAS, Chile) con una solución de metabisulfito de sodio al 0,075 % (1:1), luego se procedió a filtrar utilizando una muselina y agua para arrastrar el almidón. Lo retenido en la muselina nuevamente se colocó en la licuadora y se añadió agua (1:1), se filtró con la muselina y se empleó agua para arrastrar la mayor cantidad de almidón. Los filtrados se dejaron decantar 4 h a

temperatura ambiente hasta obtener una capa firme de almidón en el fondo. Finalizada la primera decantación, se retiró el sobrenadante, se agregó la mitad de volumen de agua respecto al almidón y se dejó reposar durante 1,5 h. Luego se retiró el sobrenadante, a la capa de almidón se le agregó una solución de NaOH 0,02% (1:2) para solubilizar proteínas y se dejó decantar por 3 h. Después se retiró el sobrenadante y al almidón se le agregó agua (1:1) ajustando el pH con HCl 2 N hasta pH 7,0. Posteriormente, la muestra se dejó decantar por 1,5 h y se eliminó el sobrenadante. Finalmente, el almidón obtenido se depositó en un papel filtro y se llevó a una estufa a 45 +/- 2 °C por 14 h, se molió y se tamizó en una malla N° 100.

### 2.3.2 Modificación por acetilación

La metodología de acetilación se basó en los métodos reportados por Rincón *et al.* (2007), Raina *et al.* (2006) y Kadivar *et al.* (2009) con algunas modificaciones. Brevemente, se utilizó anhídrido acético como agente de reacción y se emplearon niveles de 5, 10 y 15 %. Se pesaron 200 g (base seca) (Balanza analítica, OHAUS® Corporation, Explorer, Estados Unidos) de almidón nativo y 35 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y se disolvieron en 400 ml de agua destilada a temperatura ambiente, posteriormente se ajustó a pH 8-8.4 con una solución de NaOH 50 % (w/w). Luego, se adicionó el anhídrido acético (5, 10 y 15% con respecto a la cantidad de almidón % v/w) tratando de mantener el pH (8-8,4) durante la reacción (25 °C por 5 h). Terminada la reacción se ajustó a pH 7 con HCl 1 M y se realizaron cuatro lavados sucesivos con agua. El lavado se realizó con agua en la proporción 1:1, y se centrifugó (NITOIT FEDELLEL, IP-22, Hungría) a 2000 rpm por 15 min, para retirar el agua de lavado. Se secó durante 16 horas a 50 °C en la estufa, el almidón modificado se molió y se tamizó en una malla N° 100.

### 2.3.3 Análisis proximal

Se determinó el contenido de humedad, cenizas, proteína total, grasa y

carbohidratos (por diferencia) según las metodologías descritas por AOAC (1995).

### 2.3.4 Claridad

Se utilizó la metodología de Bello-Pérez *et al.* (2002). Se prepararon suspensiones con 0,2 g de almidón y 5 ml agua desionizada, utilizando tubos de ensayo con tapa, los que se calentaron en un baño de agua (GFL, modelo 1083, Alemania) a 95 °C por 30 min, agitándolos manualmente cada 5 min. Luego, los tubos se enfriaron hasta 25 °C, empleando un baño con hielo picado. Los geles se transfirieron a la celda de 1 cm para determinar el porcentaje de transmitancia (%T) a 650 nm empleando el espectrofotómetro (UNICO®, modelo UV-2100, Estados Unidos), previamente ajustado a cero con agua desionizada. Las muestras se almacenaron a 4 °C y se midió el %T a 0, 24, 48, 72 h.

### 2.3.5 Estabilidad al congelamiento (sinéresis)

Se determinó mediante el método de Lawal *et al.* (2008). Una suspensión de almidón con agua destilada (5 g de almidón en base seca/100 g) se calentó a 95 °C en un baño con agua (GFL, modelo 1083, Alemania) con agitación constante durante 1 h. El gel se centrifugó (Centrifuga NÜVE, modelo NF400, Turquía) a 1000 g durante 10 min para eliminar el agua libre (sobrenadante). El sobrenadante se decantó y los tubos que contenían el gel de almidón fueron sometidos a 10 ciclos de congelación-descongelación, seguido por centrifugación a 4000 rpm durante 30 min (Centrifuga, NITOIT FEDELLEL, IP-22, Hungría). La congelación se realizó a -18 °C por 24 h (Refrigeradora - Congeladora, General Electric®, China) y la descongelación a 30 °C en un baño con agua (GFL, modelo 1083, Alemania) durante 4 h. Se midió el porcentaje de agua separada después de cada ciclo. La estabilidad representa la sinéresis, que es expresada el por ciento en peso de agua separada entre el peso total de la muestra y se calculó de la siguiente manera:

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

### 2.3.6 Grupos acetilo y grado de sustitución del almidón modificado por acetilación

Se determinó mediante la metodología de JEFCA (2001). Se pesó 1 g de almidón nativo y modificado (base seca) y se vertió en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Se agregó 50 ml de agua destilada, unas gotas de fenolftaleína y se neutralizó con NaOH 0,1 N hasta que dio un color ligeramente rosado. Después se adicionó 25 ml de NaOH 0,45 N y se agitó vigorosamente la suspensión con un agitador magnético (Modelo 46720-26, Iowa, USA) durante 30 min. Transcurrido el tiempo, las muestras saponificadas se titularon con HCl 0,2 N usando fenolftaleína como indicador, y también un blanco usando el almidón nativo. El porcentaje de acetilo representa el por ciento en peso de grupos acetil en el almidón en base seca y se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Acetil} = \frac{(\text{mL blanco}) - (\text{mL muestra}) \times N \text{ del HCl} \times 0,043}{\text{pesos total de la muestra b.s (g)}} \times 100$$

El grado de sustitución es definido como el número promedio de sitios por unidad de glucosa que posee un grupo sustituyente y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Grado de sustitución(GS)} = \frac{162 \times \% \text{ de acetilación}}{4300 - (42 \times \text{acetilación})}$$

### 2.3.7 Viscosidad aparente

Se determinó mediante la metodología de CYTED (2000). En un matraz Erlenmeyer de 500 ml se preparó una suspensión de almidón al 4% (base seca) con agua destilada y se colocó en un baño de agua a 95 °C (GFL, modelo 1083, Alemania) con agitación constante por 30 min. Terminado el tiempo se enfrió rápidamente en un baño con hielo picado hasta 25 °C. Se midió la viscosidad aparente empleando el reómetro (Brookfield, modelo RV DVIII, Estados Unidos) con el *spindle* SC4-27 a 7,0 rpm. La viscosidad aparente se expresó en mPa·s.

### 2.3.8 Tamaño de partícula

Se determinó mediante la metodología de Kaur *et al.* (2007) con algunas modificaciones. Se preparó una solución de

almidón al 1 % w/w, luego se vertió una gota en el porta objeto y se cubrió con el cubreobjetos. Después, se colocó una gota de aceite en el cubreobjetos para una mejor visualización entre la muestra y el microscopio, luego se observó con el lente objetivo de 100X del microscopio, finalmente se tomó la fotografía con las siguientes dimensiones 640 pixel x 480 pixel (51,2 μm x 38,4 μm).

### 2.4 Análisis estadístico

Todos los análisis fueron realizados por triplicado, con preparación individual como ha sido descrito en cada método de análisis. Los datos se expresaron como media ± desviación estándar. El análisis de varianza se utilizó para calcular las diferencias significativas y se usó la prueba de discriminación de diferencias múltiples de Fisher, usando  $p < 0,05$  como nivel de significancia. El paquete estadístico Statgraphics CENTURION XV (Statistical Graphics Corp., Rockville, MD) fue utilizado para analizar los datos.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Composición proximal del almidón nativo (AN)

En la Tabla 1 se muestra el análisis proximal del almidón de papa nativo (AN) y del modificado con 15% de anhídrido acético (AAc 15%). El contenido de proteína en el AN (0,47 %) es similar a los valores reportados para almidones nativos en doce variedades de papa por Melian (2010) (0,12 - 0,59 %); sin embargo, Singh y Kaur (2009) reportaron valores superiores (0,6-2,1 %) para almidones de otras variedades de papa. Melian (2010) afirma que un alto contenido de proteína en el almidón, cambia sus propiedades físico-químicas influyendo en su viscosidad, además le confiere una capacidad a espumar. Singh y Kaur (2009) mencionan que el almidón de papa es el de mayor pureza debido a la gran presencia de carbohidratos, lo que se verificó para el AN en estudio (98,8 % de almidón). Melian (2010) sostiene que el contenido de grasa puede influir sobre el comporta-

miento reológico de los almidones y en consecuencia disminuye la viscosidad de la pasta y la fuerza del gel; y asimismo reportó un contenido entre 0,01 y 0,11 % para los almidones de doce variedades de papa y en este estudio se encontró un contenido de grasa ligeramente mayor (0,03 %) pero inferiores a los reportados para almidón de trigo (0,5 - 0,8 %). El contenido de cenizas presentes en los almidones representa la cantidad de minerales y sales remanentes que quedaron producto de la extracción y del contenido de minerales de la materia prima. Se encontró un contenido de cenizas del AN de 0,43 %; valor que se encuentra dentro de los valores reportados por Melian (2010) (0,10 - 0,67 %) para almidones de doce variedades de papa. La composición proximal del almidón modificado AAc 15% presentó contenidos de proteína, ceniza y grasa ligeramente menores a los que presentó el almidón AN. Estadísticamente ( $p < 0,05$ ) no se observan diferencias entre el almidón AN y AAc 15 %.

### 3.2 Claridad

Torruco-Uco y Betancur-Ancona (2007) mencionan que la claridad es un parámetro clave para determinar la aplicación de los almidones en productos alimenticios debido a que pueden dar brillantez u opacidad al producto final. La acetilación podría influir en la formación de agregados que harían variar la transmitancia, debido a que después de la gelatinización, la transmitancia disminuyó para los diferentes tipos de almidón. En la Tabla 2 se presentan los valores de claridad obtenidos para el almidón nativo de papa (AN) y acetilados (AAc 10% y AAc 15%). El valor de claridad (medido como % de

transmitancia) para el AN, a 0 h, fue menor a los reportados por Martínez *et al.* (2015) (entre 82,3 y 94,1%) para almidones de nueve variedades de papas nativas. El valor de claridad para AN al cabo de 72 h (1,70 %) se encuentra en el rango del reportado por Bello *et al.* (2002) para almidón nativo de plátano (1 - 2,5 %) y es similar al reportado por Ayucitra (2012) para almidón nativo de maíz (1,8 %). Respecto a la modificación química por acetilación, los valores de claridad encontrados para los geles de almidón AAc 10% y AAc 15%, a 0 h, fueron ligeramente menores (27,0 y 22,1 %, respectivamente) que al reportado por Mbougueng *et al.* (2012) para gel de almidón nativo de papa Sipiera (29,15%). Los valores de claridad para los almidones AAc 10 % y AAc 15 % al cabo de 72 h (4,40 y 3,85 %, respectivamente) concuerda con lo reportado por Bello *et al.* (2002) para almidones de plátano acetilados (5 - 10 %) y Raina *et al.* (2006) para almidones de arroz acetilados (4,5 - 9,48 %); pero son ligeramente menores a los reportados por Ayucitra (2012) para almidones de maíz acetilados (10 - 12 %). Ayucitra (2012) afirma que la claridad de geles es una propiedad a tener en cuenta para la fabricación de algunos productos alimenticios como aderezos de ensaladas y productos de confitería.

**Tabla 1**

Análisis proximal del almidón de papa nativo var. Única (base seca)

Composición	Nativo	AAc 15%
Carbohidratos <sup>a</sup> (%)	98,80 ± 0,12	99,18 ± 0,02
Proteína (%)	0,47 ± 0,07	0,33 ± 0,09
Ceniza (%)	0,43 ± 0,03	0,32 ± 0,02
Grasa (%)	0,30 ± 0,08	0,17 ± 0,02

<sup>a</sup> Por diferencia Valores con la misma letra en una columna no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 2**

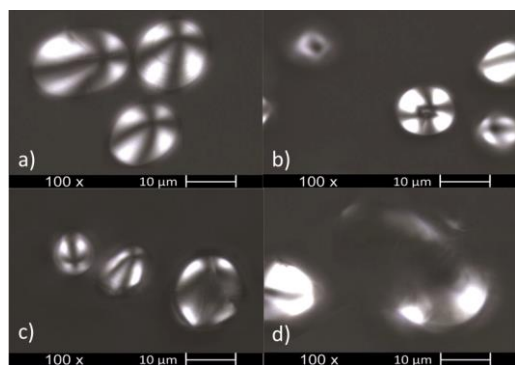
Claridad (% de transmitancia) en los almidones AN y acetilados almacenados a 4 °C

Almidón	Claridad (% de transmitancia)			
	0 h	24 h	48 h	72 h
AN	57,4 ± 1,3	9,6 ± 0,2	5,1 ± 0,5	1,7 ± 0,2
AAc 5%	nr	nr	nr	nr
AAc 10%	27,0 ± 0,3	16,60 ± 0,2	9,10 ± 0,4	4,40 ± 0,1
AAc 15%	22,1 ± 2,0	13,25 ± 0,4	7,85 ± 0,3	3,85 ± 0,3

Valores con la misma letra en una columna no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ). nr No reportado

### 3.3. Tamaño de partícula

En la Figura 2 se muestran los gránulos de almidón nativo y acetilados observados por microscopía electrónica. Se aprecia la cruz de Malta (birrefringencia) para los almidones AN, AAC 5% y AAC 10%, lo que indica la presencia de cierto orden en las moléculas que forman el almidón, pero sin hacer referencia a alguna forma cristalina (Rivas-González *et al.*, 2008). No obstante, para el almidón AAC 15%, se observa que el efecto de la acetilación con anhídrido acético alteró la cruz de Malta, por lo que este proceso de modificación aplicado al almidón nativo de papa ha alterado completamente la estructura molecular del almidón.

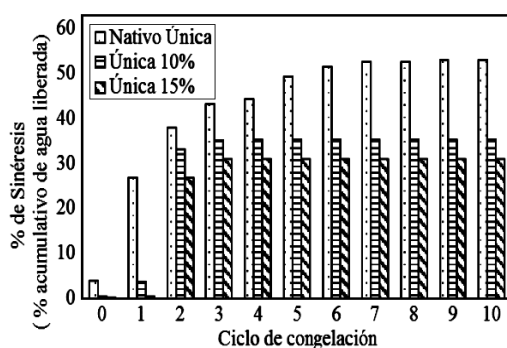


**Figura 1.** Microscopía electrónica de los almidones de papa nativo y acetilados. a) Almidón nativo (AN); b) AAC 5 %; c) AAC 10 %; d) AAC 15 %.

### 3.4 Estabilidad al congelamiento (Sinéresis)

Para la formación de cristales en la retrogradación, la amilosa y las ramificaciones de amilopectina se tienen que desligar del agua generando exudados, lo cual se conoce como el fenómeno de sinéresis (Bertolini, 2010). Esto se observó durante los ciclos de congelación, pues al congelar se perdió la translucidez del gel de almidón por la formación de cristales. De los resultados encontrados se observó que los geles de almidón presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la sinéresis durante el almacenamiento. En la Figura 1 se observa que la sinéresis de los geles de almidón nativo (AN) y

modificados (AAC 10 % y AAC 15 %) aumentó progresivamente con los días de almacenamiento, tal como lo reportaron Sodhi y Singh (2005) para almidones de cuatro cultivares de arroz nativo y modificados, almacenados a 4 °C. Los valores más bajos de sinéresis, a -18 °C, lo presentaron los almidones AAC 10% (35,2 %) y AAC 15% (31 %) para los días 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 de almacenamiento; estos valores son similares a los reportados por Martínez *et al.* (2015) para el almidón nativo de papa de la variedad Solischa para los días 3 (25 %) y 4 (35 %) en almacenamiento a 4 °C. Asimismo, valores de sinéresis similares fueron reportados por Amani *et al.* (2002) (20 - 32 %) para geles de almidones modificados químicamente, almacenados en congelación.



**Figura 2.** Estabilidad al congelamiento de los almidones de papa nativo y acetilados.

### 3.5. Comportamiento reológico y viscosidad aparente

Todos los geles de almidón, nativo y modificados, mostraron un comportamiento no newtoniano, específicamente pseudoplástico ( $n < 1$ ). En la Tabla 3 se presentan las viscosidades aparentes para el almidón nativo y los acetilados. Se presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las muestras. El gel de almidón de papa nativo (25000 mPa·s) y el almidón AAC 15% (5429 mPa·s) a 7 rpm y 25 °C, presentaron los valores más alto y más bajo, respectivamente. El gel de almidón de papa nativo presentó un valor similar al reportado por Martínez *et al.* (2015) para las variedades Puka Ambrosio (25179 mPa·s) y Kallis Quero (25081 mPa·s). Al

respecto, Aprianita *et al.* (2009) sostienen que la alta viscosidad que presentan los almidones, los hacen potencialmente aprovechables para aplicaciones en la industria alimentaria en la que se desee aumentar el poder espesante.

**Tabla 3**

Viscosidad aparente de los geles de almidón de papa nativo (AN) y acetilados

Variedad	Viscosidad aparente (mPa·s)
AN	25000 ± 36 <sup>a</sup>
AAc 5%	12964 ± 107 <sup>b</sup>
AAc 10%	7161 ± 54 <sup>c</sup>
AAc 15%	5429 ± 107 <sup>d</sup>

Valores con la misma letra en la columna no diferencian significativamente ( $p < 0,05$ ).

### 3.6 Grupos acetilos y grado de sustitución

El porcentaje de grupos acetilos (GA) para los geles de almidón modificado de papa var. Única son menores comparados con: Takahiro *et al.* (2009) quienes modificaron almidón de papa con anhídrido acético (2.5 a 5%) y encontraron valores de GA entre 0,66 y 1,96%; Kadivar *et al.* (2009) modificaron almidón de avena con anhídrido acético (6 a 8%) y encontraron valores de GA de 1,54 a 2,92%; Raina *et al.* (2006) encontraron valores de GA entre 0,79 y 1,82 % para almidones de arroz modificados con acetato de vinilo (4 a 10%); Ayucitra (2012) reportó valores de GA de 2,16 a 5,29% en almidón de maíz modificado con anhídrido acético (8%) y Bello *et al.* (2010) reportaron valores de GA de entre 0,9 y 2,7% en almidón de cebada modificado con anhídrido acético (24%). Se puede afirmar el incremento de la concentración del reactante (anhídrido acético o acetato de vinilo) genera un aumento de GA. Prieto-Méndez *et al.* (2010) afirman que la variación del porcentaje de GA se debe a los diferentes tipos de almidones, contenidos de amilosa y amilopectina, tamaño y morfología del gránulo, y las condiciones en la que se da la reacción de acetilación así como la variación de diferentes parámetros, tempe-

ratura, tiempo de reacción, pH y/o concentración de reactivo.

Los resultados de porcentaje de grupos acetilos (GA) y grados de sustitución (GS) encontrados en los geles de almidones modificados (Tabla 4), permite afirmar que serían aptos para su empleo en la industria de alimentos, pues cumplen con los requisitos establecidos por la JEFCA (2001) Y FAO (2007), cuyos valores no deben exceder el 2,5 % y 0,08 para el GA y GS respectivamente.

**Tabla 4**

Grupos acetilo (%) y grado de sustitución por nivel de acetilación en los almidones de papa acetilados

Variedad	Grupos acetilo (%)	Grado de Sustitución
AAc 5%	0,44 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,02 ± 0,00 <sup>a</sup>
AAc 10%	0,87 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,03 ± 0,00 <sup>b</sup>
AAc 15%	1,26 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,05 ± 0,00 <sup>c</sup>

Valores con la misma letra en una columna no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).

### 4. Conclusiones

La viscosidad aparente de almidones modificados por acetilación varió entre 12 964 y 5429 mPa·s para niveles de acetilación de 5 y 15%, respectivamente, mientras que el almidón nativo presentó un valor de 25000 mPa·s. La sinéresis fue más baja en los almidones acetilados AAc 10% (35,2 %) y AAc 15 % (31 %) que en el almidón nativo de papa (53,1 %). La alta claridad que presentaron los almidones acetilados, en comparación con el almidón nativo, sugiere que podrían ser potencialmente utilizables en la elaboración de rellenos para pasteles y para la elaboración de caramelos. El grado de acetilación obtenido para los almidones modificados fue como máximo 1,26% que no sobrepasó los límites recomendados por la FAO (2007) y JEFCA (2001). Finalmente, la investigación sobre aplicaciones de los almidones modificados en alimentos, sería de gran ayuda para determinar usos específicos de los mismos en relación a las características estudiadas, a fin de utilizarlos en la industria alimentaria.

## Referencias

- AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of the Official Analytical Chemists. 1995. In: Horwitz, W. (Ed.). 15th ed. AOAC, Washington, DC.
- Amani, N.; Tetchi F.; Dufour, D.; Kamenan, A. 2002. A comparative study of syneresis of Yam Starches and other modified starches. The journal of Food Technology in Africa 7(1): 4-8.
- Aprianita, A.; Purwandari, U.; Watson, B.; Vasiljevic, T. 2009. Physico-chemical properties of flours and starches from selected commercial tubers available in Australia. International Food Research Journal 16: 507-520.
- Ayucitra, A. 2012. Preparation and Characterisation of Acetylated Corn Starches. International Journal of Chemical Engineering and Applications 3 (3): 156-159.
- Bello-Pérez, L.A.; Contreras-Ramos, S.M.; Romero-Manilla, R.; Solorza-Feria, J.; Jiménez-Aparicio, A. 2002. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa Paradisiaca* L. (Var. Macho). Agrociencia 36(2): 169-180.
- Bello, L.; Agama, E.; Zamudio, P.; Mendez, G.; Rodriguez, S. 2010. Effect of low and high acetylation degree in the morphological, physicochemical and structural characteristics of barley starch. LWT – Food Science and Technology 43: 1434 - 1440.
- Bemiller, J.; Whistler, R. 2009. Starch: Chemistry and technology. Third Edition. Editorial Academic Press, Burlington, MA. USA. 879 pp.
- Bertolini, A. 2010. Starches: Characterization, properties and Applications. First Edition. Editorial CRC Press: Taylor & Francis group. USA. 276 pp.
- CYTED. 2000. Manual de métodos de caracterización de carbohidratos. Editado por Escuela Politécnica Nacional: Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología. Quito – Ecuador.
- Eliasson, A. 2004. Starch in food: Structure, function and applications. First Edition. Editorial Cambridge: Woodhead Publishing Limited (England) y CRC Press LLC (USA). 597 pp.
- Hoover, R. 2010. The Impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 50: 835-847.
- JECFA. 2001. Compendium of Food Additive Specifications: Addendum 9. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 203 pp.
- Kadivar, M.; Shahedi, M.; Mirmoghtadaie, L. 2009. Effects of cross-linking and acetylation on oat starch properties. Food Chemistry 116: 709-713.
- Kaur, L.; Singh, J.; McCarthy, O.; Singh, H. 2007. Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. Journal of Food Engineering 82: 383-394.
- Lawal, O.; Ogundiran O.; Awokoya, K.; Ogunkunle, A. 2008. The low-substituted propylene oxide etherified plantain (*Musa paradisiaca normalis*) starch: Characterization and functional parameters. Carbohydrate Polymers 74: 717-724.
- Liu, Q.; Tam, R.; Lynch, D.; Skjold, N. 2007. Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada. Food Chemistry 105: 897–907.
- Martínez, P.; Málaga, A.; Betalleluz, I.; Ibarz, A.; Velezromo, C. 2015. Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas. Scientia Agropecuaria 6(4): 291-301.
- Mbougoung, P.D.; Tenin, D.; Scher, J.; Tchiégang, C. 2012. Influence of acetylation on physicochemical, functional and thermal properties of potato and cassava starches. Journal of Food Engineering 108: 320-326.
- Melian, D. 2010. Ensayo comparativo de dos metodologías de extracción de almidón de papa usando muestras de diez variedades nativas de Chile y dos variedades comerciales. Tesis para optar el grado de licenciado en Ciencia de Alimentos. Escuela de Ingeniería de los Alimentos. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Prieto-Méndez, J.; Trejo, C. Prieto, F.; Méndez, M.; Bello, L.; Román, A. 2010. Acetilación y caracterización del almidón de Cebada. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 6 (1): 32-43.
- Raina, C.; Singh, S.; Bawa, D.; Saxena, D. 2006. Some characteristics of acetylated, crosslinked and dual modified Indian rice starches. Eur. Food Research Technology 223: 561-570.
- Rincón, A.; Bou, L.; Aragoza, L.; Padilla, F. 2007. Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpus altilis*). Archivos Latinoamericanos de Nutrición 57(3): 287.
- Rivas-González, M.; Guadalupe, M.; Méndez-Montealvo, C.; Sánchez-Rivera, M.; Núñez-Santiago, C.; Bello-Pérez, L. 2008. Caracterización morfológica, molecular y fisicoquímica del almidón de plátano oxidado y lintnerizado. Agrociencias 42: 487-497.
- Salwa, A.; Hanan, A.; Nesserien, N. 2010. Physicochemical Properties of Starch Extracted from Different Sources and Their Application in Pudding and White Sauce. World Journal of Dairy & Food Sciences 5(2): 173-182.
- Singh, J.; Kaur, L.; Singh, N. 2004. Effect of Acetylation on Some Properties of Corn and Potato Starches. Starch/Stärke 56: 586-601.
- Singh, J.; Kaur, L. 2009. Advances in potato chemistry and technology. First Edition. Editorial Academic Press, Burlington, MA. USA. 508 pp.
- Sodhi, N.S.; Singh, N. 2005. Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars. Journal of Food Engineering 70: 117-127.
- Takahiro, N.; Yamauchi, H.; Arachchige, H.; Wickramasinghe, M.; Yamamoto, K. 2009. Effect of Low Level of Starch Acetylation on Physicochemical Properties of Potato Starch. Food Science and Biotechnology 18(1): 118 -123.
- Torrucó-Uco, J.; Betancur-Ancona, D. 2007. Physicochemical and functional properties of makal starch. Food Chemistry 101: 1319-1326.
- Yaipén, R. 2013. Perú tiene la colección más grande de variedades de papa del mundo. Disponible en <http://www.agraria.pe/noticias/peru-tiene-la-coleccion-mas-grande-de-variedades-de-papa-del-mundo>
- Zaidul, I.; Yamauchi, H.; Matsuura-Endo, C.; Suzuki, T.; Noda, T. 2007. Correlation between the compositional and pasting properties of various potato starches. Food Chemistry 105: 164-172.