



Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas

Functional characterization on native starch of Peruvian native potatoes (*Solanum phureja*)

P. Martínez^{1,*}; A. Málaga²; I. Betalleluz¹; A. Ibarz³; C. Velezmoro¹

¹ Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina. Av. La Molina s/n, La Molina, Lima 12, Perú.

² Bachiller en Ciencias - Industrias Alimentarias, egresada de la Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina.

³ Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad de Lleida, Av. Rovira Roure, 191, 25198 Lleida, España.

Recibido 03 septiembre 2015. Aceptado 23 noviembre 2015.

Resumen

Existen muchas variedades de papas nativas cultivadas en diferentes localidades del Perú, generalmente para el auto consumo del agricultor. Sin embargo, la posibilidad de su uso comercial ha originado este trabajo con el fin de darles un valor agregado. Para evaluar la posibilidad de uso del almidón nativo proveniente de estas papas, como ingrediente en la industria alimentaria, se planteó 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 vironados (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. A 90 °C, el almidón de la variedad PI mostró los mayores valores de poder de hinchamiento (28,47%), capacidad de absorción de agua (22,70) y solubilidad (20,24%). La menor sinéresis, a 4 °C, la presentaron los almidones de las variedades CO y YACH, 3,8 y 4,6; 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 ($G' > G''$).

Palabras clave: papas nativas, almidón, amilosa, poder de hinchamiento, APT, reología, viscoelasticidad.

Abstract

There are many varieties of native potatoes grown in different regions of Peru, usually for farmers' consumption. However, the possibility of a commercial use has led this work in order to give them added value. To evaluate the possibility of use of native starch from these potatoes, as an ingredient in the food industry, it was presented as objective to determine the physicochemical, functional and viscoelastic native potato starches obtained from Pampacorral properties (Cuzco, Peru): Puka Ambrosio (PA), Combe (CO), Perwanita (PER), Kalis qero (KQ), Qello vironados (QEV), Yana churos (YACH), Pitikiña (PI), Yana kusi (YAKU) and Solischa (SOL). For this purpose, slurries were prepared from native starch by heating until gelatinization. Moisture sorption, swelling and solubility showed were correlated with temperature increment. At 90 °C, PI starch showed greater values for swelling power (28.47%), water binding capacity index (22.70) and solubility (20.24%). Syneresis values, at 4 °C, were the lowest for CO and YACH starches, 3.8 and 4.6; respectively. All native potato starch gels showed pseudoplastic behavior ($n < 1$) and apparent viscosity values were between 5268 mPa·s (PER) and 33080 mPa·s (CO). SOL variety starch showed the lowest hardness (2.13 N) and gumminess (1.30 N) compared with other varieties. Viscoelastic properties of native starch gels showed a predominately elastic behavior, because of storage modulus was greater than loss modulus ($G' > G''$) for varieties tested.

Keywords: native potatoes, starch, amylose, swelling power, TPA, rheology, viscoelasticity.

* Autor para correspondencia
E-mail: pmartinez@lamolina.edu.pe (P. Martínez).

1. Introducción

La papa es uno de los cultivos más importantes para alimentar a la población mundial. Al mismo tiempo, puede ser empleada para el proceso industrial y la producción de almidón. El almidón se produce en la mayoría de las plantas, pero sólo a partir de determinadas especies puede obtenerse industrialmente (Šimkova *et al.*, 2013). Las variedades de papas utilizadas para la obtención de almidón son comerciales, pero también es posible extraer almidón de variedades nativas, con lo que se incrementa un valor agregado a éstas. Entre ellas, *Solanum phureja* es una variedad de papa nativa, que crece a una altitud entre 3700 - 4450 msnm, generalmente cultivada y consumida por el mismo agricultor (Hanco *et al.*, 2008). 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 el rango de 66 a 80% en base seca (Liu *et al.*, 2007). El almidón de diferentes fuentes botánicas varía en su composición, morfología, estructura molecular tanto como su arreglo y contenido de amilosa y amilopectina (Hoover, 2010; Liu *et al.*, 2007). 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.*, 2007a), el complejo amilosa-lípido y la estructura de la amilopectina (Liu *et al.*, 2007). Con la intención de evaluar la posibilidad de uso del almidón nativo proveniente de nueve variedades de papas nativas peruanas, como ingrediente en la industria alimentaria, se planteó como objetivo de esta investigación caracterizar funcionalmente estos almidones y determinar: el contenido de amilosa, el poder de hinchamiento, índice de

absorción de agua, solubilidad, la claridad, la sinéresis, el comportamiento reológico, la viscosidad aparente, el comportamiento viscoelástico y el análisis de perfil de textura de los almidones.

2. Materiales y métodos

2.1. Muestras

Almidones nativos fueron obtenidos de papas nativas (*Solanum phureja*) adquiridas en la comunidad de Pampacorral (Latitud: 13°10'13.1"S, Longitud: 71°58'43.7"W) (distrito de Lares, provincia de Calca, región Cusco, Perú). Las variedades utilizadas fueron: Puka ambrosio (PA), Combe (CO), Perwanita (PER), Kalis qero (KQ), Qello virondos (QEV), Yana churos (YACH), Pitikiña (PI), Yana kusi (YAKU) y Solischa (SOL).

2.2. Reactivos

Amilosa de papa Tipo III (CAS 9005-82-7), Amilopectina de almidón de papa (CAS 9037-22-3) y Dimetilsulfóxido (C₂H₆OS, CAS 67-68-5, pureza 99.9%) fueron adquiridos de Sigma Aldrich (St. Louis, MO, USA). Yodo resublimado (I₂, CAS 7553-56-2, pureza 99,8%) y Yoduro de potasio (KI, CAS 7681-11-0, pureza 99,5%) fueron adquiridos de Merck® (Hohenbrunn, Germany). 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. Contenido de humedad

Se determinó en 2 g de almidón colocados en una placa hasta peso constante en una estufa (MMM-Group, modelo Venticell 111, Alemania) a 130 °C con circulación de aire durante 3 h, según AOAC (1990).

2.3.2. Contenido de amilosa y amilopectina

Se utilizó el método colorimétrico de yoduro descrito por McGrance *et al.*

(1998) que se basa en el color característico de la reacción de amilosa y amilopectina con el reactivo de yodo (I_2 -KI). Se pesó 0,1 g de almidón (base seca) en un tubo de ensayo y se añadió 2 mL de dimetilsulfóxido hasta su disolución, durante 15 min, en un baño maría con agitación (GFL, modelo 1083, Alemania) a 85 °C. Luego, se diluyó con agua destilada hasta 25 mL en un matraz aforado. De esta disolución, se tomó 1 mL de la misma y se llevó a un matraz aforado de 50 mL, se añadió 5 mL de disolución de I_2 (0,0025 M)-KI (0,0065 M), se enrasó el matraz con agua destilada hasta 50 mL y finalmente se agitó en forma manual. La lectura se realizó en un espectrofotómetro (UNICO®, modelo UV-2100, Estados Unidos) a 600 nm. La cantidad de amilosa se determinó con una curva patrón preparada a partir de mezclas de amilosa y amilopectina puras de papa, y con un contenido de amilosa de 0, 10, 25, 50, 75 y 100%.

2.3.3. Poder de hinchamiento, capacidad de absorción de agua y solubilidad

Se utilizó el método modificado de Sathe y Salunkhe (1991). Se prepararon suspensiones de almidón (1%) que se calentaron a 60, 70, 80 y 90 °C, las que después de ser enfriadas hasta 25 °C se centrifugaron (Centrífuga NÜVE, modelo: NF400, Turkia) a 4000 rpm por 50 min. Luego, se separó el sobrenadante para cuantificar el porcentaje de solubles y de gel formado. El sobrenadante se colocó en una placa Petri y se llevó a una estufa (MMM-Group, modelo Venticell 111, Alemania) a 120 °C por 4 h.

2.3.4. Claridad

Se utilizó la metodología de Bello-Pérez (1995). Se prepararon suspensiones de almidón (1%) con agua desionizada, se colocaron en tubos de ensayo con tapa y se calentaron a 100 °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), empleando el espectrofotómetro (UNICO®, modelo UV-2100, Estados Unidos) a 650 nm, previamente ajustado a cero con agua desionizada.

2.3.5. Sinéresis

Se empleó la metodología de Singh *et al.* (2007). Se prepararon dispersiones de almidón al 2% (base seca) con agua destilada y se calentaron a 90 °C por 30 min en baño maría con agitación (GFL, modelo 1083, Alemania); luego se enfriaron rápidamente hasta 25 °C (en 6 min) empleando un baño con hielo picado. Las muestras se almacenaron por 7 días a 4 °C. Se determinó la sinéresis al día 1, 2, 3, 4 y 7 y la cantidad de agua liberada (expresada como porcentaje de la masa de la muestra) después de centrifugar la muestra (Centrífuga NÜVE, modelo: NF400, Turkia) a 3000 rpm por 15 min.

2.3.6. Comportamiento reológico y viscosidad aparente

Se empleó la metodología reportada por Bello-Pérez *et al.* (2002) con modificaciones. Se prepararon dispersiones de almidón (4%), se calentaron a 95 °C y fueron agitadas por 15 min, luego se enfriaron a temperatura ambiente. La viscosidad aparente de la suspensión fue medida a 25 °C con un reómetro (Brookfield, modelo RV DV III, Estados Unidos) con el spindle SCA-27 a 7,0 rpm. Para el análisis reológico, la velocidad de deformación se incrementó desde 0,6 hasta 7,0 rpm y se utilizó el modelo de la Ley de la Potencia para determinar el comportamiento reológico de los geles.

2.3.7. Medidas dinámicas de viscoelasticidad

Las medidas dinámicas de viscoelasticidad se realizaron con el reómetro de esfuerzo controlado RS-150 ThermoHaake (Haake), usando la geometría plato-plato de 60 mm (PP60) a una temperatura controlada de 25 °C. Se prepararon suspensiones de almidón al 4% (w/w), las que fueron calentadas en un baño de agua con agitación (GFL,

modelo 1083, Alemania) con temperatura controlada a 90 °C durante 30 minutos, posteriormente los geles fueron enfriados hasta 25 °C. Los ensayos dinámicos fueron realizados para caracterizar el comportamiento viscoelástico de los geles de almidón. En primer lugar, se realizó una prueba de barrido de esfuerzo (0,1 - 100 Pa) para determinar el rango de viscoelasticidad lineal a una frecuencia constante (1 Hz). La muestra se dejó reposar en el reómetro durante 10 min antes de empezar con la prueba de barrido de frecuencias. Esta prueba fue realizada a una deformación constante (1 Pa) y en el rango de 0,1 - 10 Hz. Así, los parámetros reológicos dinámicos: módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G'') y la viscosidad compleja (n^*) fueron determinados como función de la frecuencia oscilatoria (ω).

Los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') fueron modelados como función de la potencia de la frecuencia oscilatoria (ω) (Ec. (1) y (2)), que son comúnmente usadas para describir el comportamiento viscoelástico de los alimentos y las dispersiones (Rao, 1999; Siche *et al.*, 2015).

$$G' = k' \omega^{n'} \quad (1)$$

$$G'' = k'' \omega^{n''} \quad (2)$$

Además, k' , k'' , n' y n'' son constantes determinadas experimentalmente. Cada uno de los geles de almidón de las variedades, en estudio, se evaluaron por triplicado.

2.3.8. Análisis de perfil de textura (APT)

Los geles de almidón fueron analizados mediante un APT, descrito por Rondán-Sanabria y Finardi-Filho (2009), con ciertas modificaciones y usando el texturómetro QTS Controller (Brookfield Laboratories). Los geles formados fueron directamente usados en el APT, cada gel fue penetrado con un accesorio cilíndrico de 25,4 mm de diámetro (TA11). Se obtuvieron dos curvas de fuerza con una velocidad de 10 mm/s y se calcularon la dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad y gomosidad.

2.4. Análisis estadístico

Todos los análisis fueron realizados por duplicado, con preparación individual como ha sido descrito en cada método de análisis. Los datos se expresaron como media \pm 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 v.2.3 (Statistical Graphics Corp., Rockville, MD) fue utilizado para analizar los datos.

3. Resultados y discusión

3.1. Contenido de humedad y amilosa

En la Tabla 1 se observa que el contenido de humedad encontrado para los almidones nativos de las variedades de papa estuvo en el rango de 14,15 a 15,62%, los que no presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$). El contenido de amilosa en los almidones nativos se encontró en el rango de 24,3 y 29,1%; valores superiores a los reportados por Hernández *et al.* (2007) (21%); Kaur *et al.* (2007b) (entre 15,0 y 23,1%) en almidones nativos de papas de India; Simkova *et al.* (2013) (entre 18,79 y 22,95%) en almidones de dieciséis cultivares de papa de República Checa, Lin *et al.* (2013) (21,4%) en almidón de papa comercial, Sandhu *et al.* (2015) (18,3 y 24,3%) para las fracciones de gránulos pequeños y grandes, respectivamente, de almidón nativo de una variedad comercial de papa de India (Kufri Ashoka) y Waterschoot *et al.* (2016) (18,2%) para almidón comercial de papa. Sin embargo, el contenido de amilosa para estos almidones se encuentra en el rango de los reportados por Singh *et al.* (2008) (entre 24,5 y 27,5%) en almidón nativo de diferentes cultivares de papa, Singh *et al.* (2004) (entre 25,6 y 30,4%) en almidones nativos de cuatro cultivares de papa de India y Kaur *et al.* (2007a) (entre 24,3 a 27,5%) para almidones de diferentes cultivares de papa cosechados en India. El contenido de amilosa presentó diferencias

significativas ($p < 0,05$) entre las variedades de almidón. El almidón de la variedad YACH presentó el mayor contenido de amilosa (29,1%), y la variedad SOL el menor (24,34%); aunque Mbougueng *et al.* (2012) reportaron un valor mayor de amilosa (34,04%) para el cultivar de papa Sipiera de Irlanda. Según Charles *et al.* (2005), el contenido de amilosa y amilopectina, así como el contenido de proteínas y lípidos, 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.

Tabla 1

Contenido de humedad (%) y amilosa (%) en los almidones nativos de papas nativas (*Solanum phureja*)

Variedad	Humedad* (%)	Amilosa (%)
SOL	14,28 ± 0,26	24,34 ± 0,51 ^a
YACH	15,62 ± 1,86	29,11 ± 0,29 ^c
CO	14,39 ± 0,14	26,17 ± 1,59 ^{ab}
QEV	14,39 ± 0,14	26,50 ± 3,17 ^{abc}
YAKU	14,26 ± 0,24	27,24 ± 0,20 ^{bc}
PER	14,24 ± 0,18	28,18 ± 1,30 ^{bc}
PA	14,15 ± 0,18	25,91 ± 1,89 ^{ab}
KQ	14,62 ± 0,21	28,16 ± 1,05 ^{bc}
PI	15,42 ± 2,57	25,67 ± 0,17 ^{ab}

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

*No difieren significativamente ($p < 0,05$).

3.2. Poder de hinchamiento, capacidad de absorción de agua y solubilidad

El poder de hinchamiento, la capacidad de absorción de agua y la solubilidad de los almidones estudiados mostraron estar directamente correlacionadas con el incremento de la temperatura de preparación del gel, tal como lo reportan Chen *et al.* (2015) y Lin *et al.* (2013). En las Tablas 2 a 4 se observa que los almidones de las variedades KQ y PI presentaron el mayor poder de hinchamiento (27,7 y 28,5 g agua/g almidón, respectivamente), la mayor

solubilidad a 90 °C (20,8 y 20,2 %) y la mayor capacidad de absorción de agua a 80 °C (21,1 y 21,7 g agua/g almidón) con respecto a los almidones de las otras variedades estudiadas; aunque esto no estaría relacionado con el contenido de amilosa. Según Mbougueng *et al.* (2012), la mayor capacidad de absorción de agua podría deberse al tamaño del gránulo de almidón; además, Betancur *et al.* (1997) mencionan que el aumento de esta capacidad de absorción de agua se debería a la presencia de grupos hidrofílicos que retienen agua. Kaur *et al.* (2007a) encontraron diferencias en el poder de hinchamiento para fracciones de gránulos pequeños (30,4 - 30,7 g agua/g almidón) y grandes (25,7 - 27,2 g agua/g almidón) de almidones de diferentes cultivares de papa cosechados en India. También, Lin *et al.* (2013) mencionan que la mayor solubilidad del almidón puede atribuirse a una mayor solubilización de polímeros a partir de gránulos de almidón con rigidez más débil, cuando se calientan a alta temperatura.

Tabla 2

Poder de hinchamiento (g agua/g almidón) en almidones nativos de papas nativas (*Solanum phureja*)

Variedad	Temperatura			
	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
SOL	12,7 ± 0,14 ^b	15,1 ± 0,36 ^a	19,6 ± 0,29 ^a	23,9 ± 1,38 ^a
YACH	11,1 ± 1,01 ^a	15,6 ± 0,98 ^{ab}	22,8 ± 0,79 ^b	26,9 ± 0,66 ^{cd}
CO	12,9 ± 0,82 ^b	14,9 ± 0,95 ^a	20,6 ± 0,44 ^a	26,0 ± 1,01 ^{bc}
QEV	14,0 ± 0,62 ^{bc}	16,3 ± 0,46 ^{bc}	20,4 ± 1,22 ^a	23,9 ± 1,25 ^a
YAKU	14,4 ± 1,16 ^c	17,0 ± 0,54 ^c	22,7 ± 0,42 ^b	24,9 ± 0,62 ^{ab}
PER	13,7 ± 0,77 ^{bc}	16,8 ± 0,67 ^c	20,4 ± 0,40 ^a	24,9 ± 0,90 ^{ab}
PA	14,0 ± 0,44 ^{bc}	16,9 ± 0,52 ^c	20,5 ± 0,28 ^a	25,0 ± 0,76 ^{ab}
KQ	13,0 ± 0,55 ^b	20,1 ± 0,63 ^d	25,1 ± 0,79 ^c	27,7 ± 0,74 ^{de}
PI	13,0 ± 1,26 ^b	19,8 ± 0,32 ^d	25,7 ± 0,65 ^c	28,5 ± 0,97 ^e

Valores con el mismo superíndice en la columna no difieren significativamente ($p < 0,05$).

Tabla 3

Capacidad de absorción de agua (g agua/g almidón) en almidones nativos de papa nativas (*Solanum phureja*)

Variedad	Temperatura			
	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
SOL	11,8 ± 0,14 ^b	13,7 ± 0,36 ^{ab}	17,0 ± 0,32 ^a	18,9 ± 0,37 ^a
YACH	10,6 ± 1,0 ^a	13,8 ± 0,79 ^b	19,4 ± 0,37 ^d	22,0 ± 0,22 ^d
CO	12,0 ± 0,82 ^{bc}	13,0 ± 0,81 ^a	17,1 ± 0,64 ^a	20,8 ± 0,94 ^b
QEV	13,2 ± 0,62 ^{cd}	14,8 ± 0,46 ^c	17,6 ± 0,84 ^{ab}	19,9 ± 1,10 ^{ab}
YAKU	13,5 ± 1,16 ^d	15,0 ± 0,63 ^c	19,7 ± 0,36 ^d	20,8 ± 0,45 ^{bc}
PER	13,1 ± 0,77 ^{cd}	15,2 ± 0,47 ^c	18,0 ± 0,26 ^{bc}	20,7 ± 0,82 ^b
PA	13,0 ± 0,44 ^{cd}	15,1 ± 0,72 ^c	18,4 ± 0,52 ^c	20,5 ± 1,06 ^b
KQ	12,0 ± 0,55 ^{bc}	17,6 ± 0,37 ^d	21,1 ± 0,51 ^e	21,9 ± 0,71 ^{cd}
PI	13,0 ± 1,26 ^{bcd}	17,7 ± 0,17 ^d	21,7 ± 0,65 ^e	22,7 ± 0,68 ^d

Valores con el mismo superíndice en la columna no difieren significativamente ($p < 0,05$).

Tabla 4

Solubilidad (%) en almidones nativos de papas nativas (*Solanum phureja*)

Variedad	Temperatura			
	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
SOL	7,5 ± 0,44 ^d	9,6 ± 0,42 ^b	13,3 ± 0,92 ^{bc}	19,0 ± 0,82 ^{cd}
YACH	4,8 ± 0,52 ^{ac}	11,1 ± 0,66 ^c	15,6 ± 0,88 ^{de}	17,6 ± 0,46 ^b
CO	7,2 ± 0,42 ^{cd}	13,2 ± 0,35 ^d	16,9 ± 0,48 ^e	19,9 ± 0,58 ^{de}
QEV	5,9 ± 0,57 ^b	9,2 ± 0,44 ^b	12,4 ± 1,09 ^{ab}	16,8 ± 0,40 ^{ab}
YAKU	6,3 ± 0,77 ^{bd}	11,6 ± 0,94 ^c	13,4 ± 0,44 ^{bc}	16,4 ± 0,76 ^a
PER	4,8 ± 0,58 ^a	7,9 ± 0,34 ^a	12,0 ± 0,82 ^a	16,7 ± 0,50 ^{ab}
PA	6,7 ± 0,53 ^{bcd}	8,9 ± 0,42 ^b	14,3 ± 0,83 ^c	18,8 ± 1,06 ^c
KQ	7,4 ± 1,29	12,6 ± 0,30 ^d	15,8 ± 0,79 ^{de}	20,8 ± 0,83 ^c
PI	7,3 ± 0,82 ^{cd}	11,1 ± 0,50 ^c	15,4 ± 0,52 ^d	20,2 ± 0,93 ^c

Valores con el mismo superíndice en la columna no difieren significativamente ($p < 0,05$).

3.3. Claridad

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 (Torruco-Uco y Betancur-Ancona, 2007). Los geles de almidón presentaron valores de claridad (medidos como % de transmitancia) altos (entre 82,3 y 94,1%), existiendo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las variedades en estudio (Tabla 5). Los geles de almidón de las variedades PA, KQ y PI presentaron transmitancia (%T) de 93,9; 94,1 y 93,2 %, respectivamente; las que fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) que las presentadas por los geles de almidón de las otras variedades. Los valores encontrados de claridad para todos los geles de almidones nativos fueron mayores que el reportado por Mbougueng *et al.* (2012) para gel de almidón nativo de papa Sipiera (29,15%). Al respecto, Hoover (2010) menciona que el grado de transmitancia está directamente afectado por el poder de hinchamiento, lo que coincide con los resultados obtenidos en los almidones de las variedades KQ y PI, que presentaron el mayor poder de hinchamiento y también un valor alto de claridad del gel.

Tabla 5

Claridad (% de transmitancia) en los almidones nativos de papas nativas (*Solanum phureja*)

Variedad	Claridad (% de transmitancia)
SOL	86,5 ± 1,45 ^c
YACH	88,5 ± 0,71 ^d
CO	84,1 ± 0,51 ^b
QEV	82,5 ± 0,97 ^a
YAKU	87,0 ± 1,17 ^c
PER	82,3 ± 0,32 ^a
PA	93,9 ± 0,96 ^e
KQ	94,1 ± 0,72 ^e
PI	93,2 ± 1,18 ^e

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

3.4. Sinéresis

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 almidones nativos aumentó

progresivamente con los días de almacenamiento, tal como lo reportaron Sodhi y Singh (2005) para almidones de cuatro cultivares de arroz. Los valores más bajos de sinéresis, a 4 °C, lo presentaron los almidones de las variedades CO (3,8%) y YACH (4,6%) para el día 7; estos valores son similares a lo reportado por Sodhi y Singh (2005) para almidón de arroz del cultivar IR-8 (4,61%). Los almidones SOL y PER presentaron los valores de sinéresis más altos y que difieren significativamente entre sí (9,8 y 12,6%, respectivamente) después de 24 h; valores similares fueron reportados por Singh *et al.* (2008) para almidón de papa de la variedad Tutaekuri (9% después de 24 h).

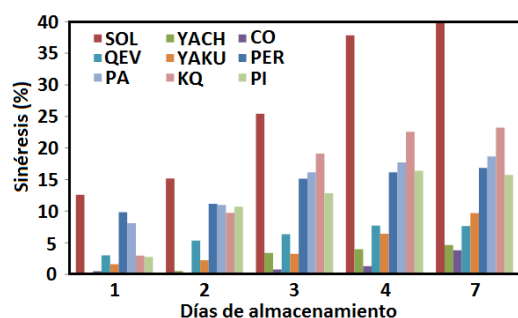


Figura 1. Sinéresis (%) de almidones de papa *Solanum phureja* en refrigeración.

3.5. Comportamiento reológico y viscosidad aparente

Todos los geles de almidón de las variedades en estudio mostraron un comportamiento no newtoniano, específicamente pseudoplástico ($n < 1$). Con respecto a la viscosidad aparente, se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras. El gel de almidón de la variedad PER (5267 mPa·s) y el de la variedad CO (33080 mPa·s) a 7,0 rpm y 25 °C, presentaron los valores más bajo y más alto, respectivamente. La variedad y la zona de cultivo tienen una influencia significativa en la viscosidad aparente de las suspensiones de almidón (Bello-Pérez *et al.*, 2002), esto se evidencia por los diferentes valores de viscosidad que presentaron los geles de almidón de las

variedades estudiadas. Los geles de almidón de las variedades KQ, PA, YAKU, QEV y YACH no presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) con un valor promedio de 25898,6 mPa·s, en tanto que los geles de las variedades SOL y PI fueron significativamente diferentes de estos. 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 6

Viscosidad aparente (mPa·s) de los geles de almidones de papas nativas (*Solanum phureja*)

Variiedad	Viscosidad aparente (mPa·s)
SOL	9107 ± 2295 ^b
YACH	27911 ± 1505 ^d
CO	33080 ± 960 ^e
QEV	26143 ± 3347 ^d
YAKU	25179 ± 748 ^d
PER	5268 ± 969 ^a
PA	25179 ± 4236 ^d
KQ	25081 ± 2595 ^d
PI	20857 ± 2432 ^c

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

3.6. Propiedades de viscoelasticidad

Las pruebas de oscilación evalúan el comportamiento viscoelástico en el rango de viscoelasticidad lineal donde la estructura del material no sufre daños (López *et al.*, 2010). El rango de viscoelasticidad fue obtenido mediante la prueba de barrido de esfuerzo, de 0,1-10,62 Pa para todos los geles de almidón evaluados. Este rango es diferente a los reportados por López *et al.* (2010) (0,01-1,1 Pa y 0,01 - 2,7 Pa) para almidones de maíz modificados por acetilación. Esto indicaría que los geles de almidones nativos ensayados muestran una alta resistencia a la deformación y que podrían ser empleados en la formulación de alimentos que requieren condiciones de procesamiento drástico (López *et al.*,

2010). Aunque el barrido de frecuencia oscilatoria se llevó a cabo en el rango de 0,01 a 10 Hz, la región de viscoelasticidad lineal fue limitada por la frecuencia de ~8Hz para todos los geles de almidón nativo; y las Ec. (1) y (2) fueron evaluadas solamente en este rango de frecuencia. Asimismo, para todos estos geles, el módulo de almacenamiento (G') fue siempre mayor que el módulo de pérdida (G'') en el rango de la frecuencia oscilatoria (ω) evaluada, tal como se observa en la Figura 2 (a, b, c). Esto indica que los geles de almidón nativo mostraron propiedades predominantemente elásticas en lugar de las viscosas ($G' > G''$), lo que clasificaría a estos geles como débiles (Rao, 1999; Gałkowska *et al.*, 2014). La dependencia de G'' sobre la frecuencia oscilatoria fue ligeramente mayor que para G' , especialmente a frecuencias mayores a 1 Hz. Este resultado difiere a lo reportado por López *et al.* (2010), quienes encontraron un comportamiento viscoso para almidón nativo y almidón reticulado de maíz ($G'' > G'$). Al respecto, Khondkar *et al.* (2007) mencionan que los geles débiles poseen propiedades reológicas intermedias entre soluciones y geles fuertes, y que bajo condiciones de deformación pequeñas, los geles débiles se asemejan a los geles fuertes en su comportamiento mecánico.

Comportamientos similares han sido reportados para almidones de papa de las variedades Tutaekuri, Kapurera y Moemoe (Singh *et al.*, 2008), para almidones de maíz y ramón (Moo-Huchin *et al.*, 2015) y para almidones de maíz modificados (Bahrani *et al.*, 2013). Como ha sido reportado por otros autores, los valores G' y G'' mostraron un ligero incremento con el aumento de la frecuencia oscilatoria, mientras que se observó que la viscosidad compleja (n^*) disminuyó en función de la frecuencia oscilatoria en todos los casos (Gałkowska *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2009; Shon *et al.*, 2006; Lobato-Calleros *et al.*, 2014).

Así, fue posible modelar los módulos de almacenamiento y de pérdida como

función de potencia de la frecuencia oscilatoria (Ec. (1) y (2)).

El coeficiente de regresión R^2 fue siempre mayor a 0,97. La Tabla 7 muestra la influencia de las variedades de papa nativas sobre los parámetros de la Ec. (1) y (2).

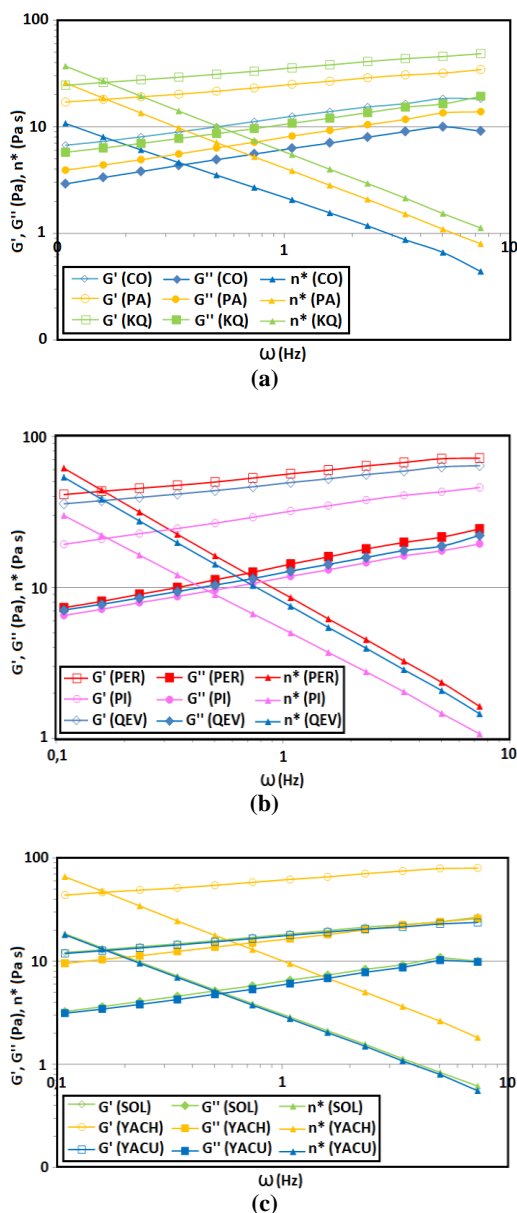


Figura 2. Cambios en el módulo de almacenamiento (G'), el módulo de pérdida (G'') y la viscosidad compleja (n^*) como función de la frecuencia (ω) para los geles de almidón nativo de papa (*Solanum phureja*): (a) CO, PA, KQ; (b) PER, PI, QEV; (c) SOL, YACH, YAKU.

El efecto de las variedades de papa fue importante para las magnitudes G' y G'' , e incluso cambiaron los valores para k' y k'' mucho más que para los valores de n' y n'' . Los valores de k' y k'' estuvieron en el rango de 11,89 a 61,00 Pa·s^{n'} y 5,92 a 16,22 Pa·s^{n''}, respectivamente; mientras que los valores de n' y n'' estuvieron en el rango de 0,14 a 0,26 y 0,24 a 0,30, respectivamente. Los valores de n'' fueron ligeramente mayores que los de n' , lo que demuestra que el comportamiento viscoso de los geles de almidón llega a ser importante a altas frecuencias.

3.7. Análisis de perfil de textura (TPA)

Las propiedades de textura evaluados en el TPA se presentan en la Tabla 8. Para cada uno de los parámetros evaluados, se

encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los almidones; excepto para el parámetro de elasticidad (no se encontró diferencias significativas). Los geles de almidón de todas las variedades no presentaron fracturabilidad, los valores de cohesividad variaron entre 0,54 y 0,63, los que correspondieron a las variedades PI y YAKU, respectivamente. Mientras que los de elasticidad y gomosidad variaron entre 9,07-9,56 y 1,30 - 3,42 N, respectivamente. Con respecto a la dureza, se encontraron valores entre 2,18 y 5,62 N para los geles de almidón SOL y PI, respectivamente. La dureza del almidón gelatinizado se asocia con la matriz de amilosa y el efecto de llenado de los gránulos hinchados (Kaur *et al.*, 2007a).

Tabla 7

Efecto de las variedades de papa nativa (*Solanum phureja*) sobre las propiedades viscoelásticas de geles de almidón nativo (k' , k'' , n' , n'' de las Ec. (1) y (2))

Variedad	k' (Pa·s ^{n'})	k'' (Pa·s ^{n''})	n'	n''
SOL	18,10 ± 1,23 ^b	6,30 ± 0,63 ^{bc}	0,19 ± 0,02 ^{al}	0,29 ± 0,01 ^a
YACH	61,00 ± 12,41 ^b	16,22 ± 0,31 ^{bc}	0,16 ± 0,04 ^{ab}	0,24 ± 0,02 ^a
CO	11,89 ± 0,43 ^b	5,92 ± 0,34 ^c	0,26 ± 0,01 ^{ab}	0,30 ± 0,01 ^a
QEV	48,82 ± 2,02 ^{ab}	12,57 ± 0,37 ^{ab}	0,14 ± 0,01 ^a	0,27 ± 0,01 ^a
YAKU	17,38 ± 2,70 ^b	5,92 ± 0,87 ^{bc}	0,17 ± 0,00 ^a	0,29 ± 0,01 ^a
PER	55,69 ± 1,01 ^b	13,78 ± 0,09 ^{bc}	0,14 ± 0,00 ^a	0,29 ± 0,01 ^a
PA	24,49 ± 2,36 ^{ab}	7,85 ± 0,37 ^{bc}	0,17 ± 0,01 ^b	0,30 ± 0,01 ^a
KQ	35,04 ± 0,45 ^a	10,59 ± 0,10 ^{bc}	0,17 ± 0,01 ^d	0,28 ± 0,01 ^c
PI	30,94 ± 1,97 ^a	11,58 ± 0,63 ^a	0,21 ± 0,00 ^c	0,26 ± 0,01 ^b

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

Tabla 8

Análisis de perfil de textura (APT) de los geles de almidón nativo de papa (*Solanum phureja*)

Variedad	Dureza (N)	Cohesividad	Elasticidad* (mm)	Adhesividad (Ns)	Gomosidad (N)
SOL	2,18 ± 0,15 ^a	0,60 ± 0,02 ^{cde}	9,07 ± 0,26	-2,51 ± 0,23 ^c	1,30 ± 0,09 ^a
YACH	4,75 ± 0,28 ^{bc}	0,59 ± 0,02 ^{bcd}	9,22 ± 0,26	-3,67 ± 0,21 ^a	2,82 ± 0,12 ^b
CO	4,38 ± 0,06 ^b	0,57 ± 0,03 ^{abc}	9,12 ± 0,28	-1,74 ± 0,07 ^{fg}	2,76 ± 0,08 ^b
QEV	4,13 ± 0,16 ^e	0,60 ± 0,02 ^{ab}	9,27 ± 0,65	-2,13 ± 0,34 ^{fg}	2,59 ± 0,07 ^c
YAKU	4,76 ± 0,18 ^c	0,63 ± 0,01 ^e	9,15 ± 0,37	-2,09 ± 0,20 ^{de}	2,76 ± 0,35 ^b
PER	5,19 ± 0,16 ^d	0,62 ± 0,02 ^{de}	9,35 ± 0,44	-2,29 ± 0,25 ^{cd}	3,45 ± 0,15 ^d
PA	4,83 ± 0,08 ^{cd}	0,59 ± 0,02 ^{bcd}	9,39 ± 0,26	-1,58 ± 0,08 ^g	2,94 ± 0,02 ^{bc}
KQ	4,78 ± 0,30 ^c	0,60 ± 0,04 ^{bcd}	9,56 ± 0,15	-1,98 ± 0,12 ^{ef}	2,83 ± 0,12 ^b
PI	5,62 ± 0,52 ^e	0,54 ± 0,03 ^a	9,33 ± 0,37	-3,34 ± 0,26 ^b	3,42 ± 0,29 ^d

Valores con el mismo superíndice en la columna no difieren significativamente ($p < 0,05$). * No difieren significativamente ($p < 0,05$).

Kaur *et al.* (2007a) reportaron valores de dureza más bajos para geles de almidón de papa de las variedades Kufri Ashoka, Kufri Dewa y Kufri Kunden (0,16 - 0,28 N) en comparación con los valores encontrados en esta investigación. Asimismo, reportaron que la dureza y la cohesividad de geles de almidón aumentaron durante el almacenamiento a 4 °C debido a la agregación de moléculas de amilosa y amilopectina. Rondán-Sanabria y Finardi-Filho (2009) reportaron un valor de 4,12 N para la dureza de almidón de maca, valor similar al encontrado para el almidón de la variedad QEV (4,13 N). Las variaciones de las propiedades mecánicas de los geles de almidón podrían ser atribuidos a las diferencias en las características de la matriz de amilosa (Kaur *et al.*, 2007a, Sodhi y Singh, 2005).

4. Conclusiones

El bajo porcentaje de sinéresis presentado por los almidones de las variedades CO y YACH sugieren que podrían ser usados como estabilizantes o gelificantes en alimentos refrigerados. La alta claridad que presentaron los almidones de las variedades PA, KQ y PI sugiere que podrían ser potencialmente utilizables en la elaboración de rellenos para pasteles y para la elaboración de caramelos. Los geles de almidón de las variedades evaluadas mostraron un comportamiento predominantemente elástico ($G' > G''$) en el rango de frecuencia en estudio ($0,68 < \omega < 46,39$). Los geles de las variedades de almidón SOL y YAKU no presentaron diferencias en los valores de los módulos G' y G'' ; mientras que la variedad YACH presentó valores más altos. Finalmente, la investigación sobre aplicaciones de los almidones nativos (*Solanum phureja*) 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; y por consiguiente se daría un gran valor agregado para la comercialización de estas papas nativas.

Agradecimientos

Esta investigación fue parcialmente financiada por el Proyecto de Innovación Tecnológica de la Universidad Nacional Agraria La Molina (IT-UNALM). Los autores agradecen a la Ing. Laura Linares y al Dr. Milber Ureña por su colaboración en la extracción de los almidones nativos.

5. Referencias bibliográficas

- AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of the Official Analytical Chemists. 1990. In: Horwitz, W. (Ed.). 15th ed. AOAC, Washington, DC.
- 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.
- Bahrani, S.A.; Loisel, C.; Maache-Rezzouga, Z.; Della Valled, D.; Rezzouga, S.A. 2013. Rheological and viscoelastic properties of corn starch suspension modified by hydrothermal process: Impacts of process intensification. *Chemical Engineering and Processing* 64: 10– 16.
- Bello-Pérez, L. 1995. Claridad de los geles de almidón. En: *Manual de métodos de caracterización de carbohidratos* (pp. 57).
- 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.
- Betancur-Ancona, D.A.; Chel-Guerrero, L.A.; Camelo-Matos, R.I.; Dávila-Ortiz, G. 2001. Physicochemical and functional characterization of baby lima bean (*Phaseolus lunatus*) starch. *Starch/Stärke* 53: 219-226.
- Betancur, A.D.; Chel, G.L.; Canizares, H.E. 1997. Acetylation and characterization of *Canavalia ensiformis* starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45: 378-382.
- Charles, L.A.; Chang, H.Y.; Ko, C.W.; Shiroth, K.; Huang, C.T. 2005. Influence of amylopectin structure and amylose content on the gelling properties of five cultivars of *Cassava* starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 2717-2725.
- Chen, W.; Zhou, H.; Yang, H.; Cui, M. 2015. Effects of charge-carrying amino acids on the gelatinization and retrogradation properties of potato starch. *Food Chemistry* 167: 180-184.
- Gałkowska, D.; Pycia, K.; Juszcak, L.; Pająk, P. 2014. Influence of cassia gum on rheological and textural properties of native potato and corn starch. *Starch/Stärke*, 66 (11-12), 1060-1070.
- Hanco, J.; Blas, R.; Quispe, M.; Ugás, R. 2008. Pampacorral – Catálogo de sus papas nativas. Universidad Nacional Agraria La Molina y Asociación Nacional de Productores Ecológicos. 100 pp.
- Hernández, O.; Emaldi, U.; Tovar, J. 2007. In vitro digestibility of edible films from various starch sources. *Carbohydrate Polymers* 71: 648-655.
- 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.
- Kaur, L.; Singh, J.; McCarthy, O.; Singh, H. 2007a. Physico-chemical, rheological and structural properties

- of fractionated potato starches. *Journal of Food Engineering* 82: 383-394.
- Kaur, A.; Singh, N.; Ezekiel, R.; Singh, H. 2007b. Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry* 101: 643-651.
- Khondkar, D.; Tester, R.; Hudson, N.; Karkalas, J.; Morrow, J. 2007. Rheological behaviour of uncross-linked and cross-linked gelatinised waxy maize starch with pectin gels. *Food Hydrocolloids* 21: 1296-1301.
- Lee, H.L.; Yoo, B. 2009. Dynamic rheological and thermal properties of acetylated sweet potato starch. *Starch/Stärke* 61: 407-413.
- Lin, J.H.; Kao, W.T.; Tsai, Y.C.; Chang, Y.H. 2013. Effect of granular characteristics on pasting properties of starch blends. *Carbohydrate Polymers* 98: 1553-1560.
- 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.
- Lobato-Calleros, C.; Ramírez-Santiago, C.; Vernon-Carter, E.J., Álvarez-Ramírez, J. 2014. Impact of native and chemically modified starches addition as fat replacers in the viscoelasticity or reduced-fat stirred yogurt. *Journal of Food Engineering* 131: 110-115.
- López, O.; Zaritzky, N.; García, M. 2010. Physicochemical characterization of chemically modified corn starches related to rheological behavior, retrogradation and film forming capacity. *Journal of Food Engineering* 100: 160-168.
- McGrance, S.; Cornell, H.; Rix, C. 1998. A simple and rapid colorimetric method for the determination of amylose in starch products. *Starch/Stärke* 50: 158-163.
- Mbougueng, 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.
- Moo-Huchin, V.M.; Cabrera-Sierra, M.J.; Estrada-León, R.J.; Ríos-Soberanis, C.R.; Betancur-Ancona, D.; Chel-Guerrero, L.; Ortiz-Fernández, A.; Estrada-Mota, I.A.; Pérez-Pacheco, E. 2015. Determination of some physicochemical and rheological characteristics of starch obtained from *Brosimum alicastrum* Swartz seeds. *Food Hydrocolloids* 45: 48-54.
- Rao, M.A., 1999. Flow and Functional Models for Rheological Properties of Fluid Foods. En: Rao, M.A. (Ed.), *Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications*. Aspen Publishers, Gaithersburg.
- Rondán-Sanabria, G.; Finardi-Fhilo, F. 2009. Physical-chemical and functional properties of maca root starch (*Lepidium meyenii* Walpers). *Food Chemistry* 114: 492-498.
- Sandhu, K.S.; Sharma, L.; Kaur, M. 2015. 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.
- Sathe, S.K.; Salunkhe, D.K. 1991. Isolation, partial characterization and modification of the greath northern bean (*Phaseolus vulgaris*) starch. *Journal of Food Science* 46: 617-621.
- Shon, K.J.; Yoo, B. 2006. Effect of acetylation on rheological properties of rice starch. *Starch/Stärke* 58: 177-185.
- Siche, R.; Falguera, V.; Ibarz, A. 2015. Use of Response Surface Methodology to Describe the Combined Effect of Temperature and Fiber on the Rheological Properties of Orange Juice. *Journal of Texture Studies* 46: 67-73.
- Šimkova, D.; Lachman, J.; Hamouz, K.; Vokal, B. 2013. Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing. *Food Chemistry* 141: 3872-3880.
- 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.; McCarthy, O.J.; Singh, H.; Moughan, P.J.; & Kaur, L. 2007. Morphological, thermal and rheological characterization of starch isolated from New Zealand Kamo Kamo (*Cucurbita pepo*) fruit—A novel source. *Carbohydrate polymers* 67 (2): 233-244.
- Singh, J.; Owen, J.; McCarthy, J.; Singh, H.; Moughan, P. 2008. Low temperature post-harvest storage of New Zealand *Taewa* (Maori potato): Effects on starch physico-chemical and functional characteristics. *Food Chemistry* 106: 583-596.
- 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.
- Torrucó-Uco, J.; Betancur-Ancona, D. 2007. Physicochemical and functional properties of makal starch. *Food Chemistry* 101: 1319-1326.
- Waterschoot, J.; Gomand, S.V.; Delcour, J.A. 2016. Impact of swelling power and granule size on pasting of blends of potato, waxy rice and maize starches. *Food Hydrocolloids* 52: 69-77.
- 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.