



Estabilidad de papa amarilla (*Solanum goniocalyx*) cocida/prensada durante el almacenamiento en congelación

Stability of cooked pressed yellow potato (*Solanum goniocalyx*) in frozen storage

Leonardo Quispe-Mendoza; Indira Betalleluz-Pallardel; Luis Vargas-Delgado*; Carmen Velezmoro-Sánchez

Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina s/n, La Molina, Lima, Peru.

Received September 2, 2017. Accepted March 11, 2018.

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del almacenamiento en congelación sobre el color, pH, contenido de materia seca y propiedades viscoelásticas de las variedades de papa nativa Amarilla Tumbay y Peruanita, previamente cocidas/prensadas. Se aplicaron tres tratamientos: (a) cocidas sin pelar, (b) peladas-cocidas sin aditivos, y (c) peladas, sometidas a una solución de ácido cítrico (3%) por 3 minutos y cocidas; luego prensadas, congeladas a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y almacenadas durante 16 semanas a $-21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los parámetros evaluados variaron significativamente, con descensos en L^* , b^* e índice de amarillez (YI), llegando a cierta estabilidad entre las semanas 6 y 8, con un efecto positivo del ácido cítrico, y descensos reducidos en el pH y contenido de materia seca. Los parámetros viscoelásticos en promedio fueron estables, presentando una respuesta predominantemente elástica, con valores del módulo de almacenamiento más elevados que los del módulo de pérdida en todo el intervalo de frecuencia. La baja dependencia del componente elástico con la frecuencia (n') y los valores del ángulo de fase (δ) indican que los tratamientos exhibieron un comportamiento que está más próximo a las de un gel débil. Los moderados cambios en los parámetros evaluados proveen evidencia de la conveniencia de utilizar papas amarillas nativas previamente cocidas y prensadas para su almacenamiento en congelación.

Palabras clave: papa amarilla; congelación; color; propiedades reológicas; estabilidad.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of freezing storage on the color, pH, dry matter content and viscoelastic properties of the previously cooked / pressed native varieties of Yellow Tumbay and Peruanita. Three treatments were applied: (a) cooked without peeling, (b) peeled-cooked without additives, and (c) peeled, submitted to a solution of citric acid (3%) for 3 minutes and cooked; then pressed, frozen at $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ and stored for 16 weeks at $-21.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. The parameters evaluated varied significantly, with decreases in L^* , b^* and yellowness index (YI), reaching a certain stability between weeks 6th and 8th, with a positive effect of citric acid, and reduced decreases in pH and dry matter content. The average viscoelastic parameters were stable, presenting a predominantly elastic response, with storage module values higher than those of the loss module over the entire frequency range. The low dependence of the elastic component with the frequency (n') and the values of the phase angle (δ) indicate that the treatments exhibited a behavior that is closer to those of a weak gel. The moderate changes in the parameters evaluated provide evidence of the convenience of using native yellow potatoes previously cooked and pressed for freezing storage.

Keywords: potato; frozen; color; rheological properties; stability.

1. Introducción

El Perú es el país con mayor diversidad de papas en el mundo, al contar con 8 especies nativas domesticadas y más de 3000 variedades en total. Dentro de las

especies cultivadas, la *S. goniocalyx* presenta una diversidad de variedades nativas entre las que se encuentran las comerciales Amarilla Tumbay y Peruanita, cuya característica resaltante es el color

* Corresponding author
E-mail: fervargas@lamolina.edu.pe (L. Vargas-Delgado).

amarillo intenso de la pulpa (CIP, 2006). Estas especies han sido reconocidas por su alto contenido de carotenoides totales (Brown et al., 2007), por el alto valor biológico de su proteína en comparación con huevo entero, soya y frijoles (Waglay et al., 2014), y su bien equilibrada concentración de aminoácidos (Bártová et al., 2015), convirtiéndolas en especies promisorias. Lamentablemente, su consumo es con muy poca industrialización (Fuentes et al., 2009).

Se han reportado investigaciones realizadas en otros países que estudian el uso de la papa para la elaboración de puré y su comportamiento bajo tratamientos de congelación con variedades comerciales blancas y en las que se ha evaluado el efecto de la velocidad de congelación (Phinney et al., 2017), tiempo de almacenamiento congelado (Fernández et al., 2009), fluctuación de temperatura durante el almacenamiento (Ullah et al., 2014), tipo de descongelación (Phinney et al. 2017), adición de estabilizantes (Álvarez et al., 2011) y tratamientos antipardeantes como el ácido cítrico (Tsouvaltzis y Brecht, 2017) sobre las principales características de la papa, como color, pH, textura, propiedades reológicas, microestructura, contenido de materia seca y atributos sensoriales. En todos estos trabajos existe coincidencia en que la congelación afecta la textura, la pérdida de peso y el color; sin embargo, estas fueron realizados en variedades de papa cultivadas en Europa y en presentaciones diferentes a las del presente estudio: papa amarilla cocida/prensada y congelada. Por lo expuesto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar los cambios de color, pH, contenido de materia seca y propiedades reológicas, de dos variedades de papas nativas amarillas (*Solanum goniocalyx*) cocidas/prensadas y congeladas a lo largo de su almacenamiento en congelación durante 16 semanas.

2. Materiales y métodos

2.1 Materia Prima

Las variedades nativas estudiadas: Amarilla Tumbay (AM) y Peruanita (PE) fueron obtenidas en la provincia de Ambo (2064 msnm) del departamento de Huánuco, Perú.

2.2 Preparación de los tratamientos y condiciones de almacenamiento

El procesamiento y almacenamiento posterior se realizó en la línea de producción y cámaras frigoríficas de una

planta industrial en Lima, Perú. Se partió de un lote de 250 kg de cada variedad de papa, las cuales fueron seleccionadas, lavadas, desinfectadas y tratadas de la siguiente manera: (a) cocidas sin pelar (SP), (b) peladas-cocidas sin aditivos (PSA), y (c) peladas, luego sometidas a una solución de ácido cítrico al 3% en una relación 1:4 por 3 minutos y finalmente cocidas (PCA), tratamiento recomendado por Calder et al. (2012) para el control del oscurecimiento después de la cocción. La cocción en todos los casos se realizó en agua hirviendo por 30 minutos, luego fueron prensadas en una moledora semi-industrial (Torrey® modelo M-22, México) y envasadas en recipientes termoformados semirrígidos de PET de 250 g de capacidad, congeladas en una cámara industrial de convección forzada a $-20 \pm 1,6$ °C, donde alcanzaron la temperatura de -18 °C después de 18 horas, y finalmente almacenadas en la misma cámara por 16 semanas.

2.3 Métodos de análisis

Para los análisis, las muestras fueron descongeladas en su mismo envase por 48 horas en una cámara de refrigeración a 3 °C, luego llevadas a temperatura ambiente ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) y finalmente homogenizadas manualmente. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

2.2.1 Determinación de color

Se trabajó en el espacio de color CIE $L^*a^*b^*$ empleando un colorímetro (Konica Minolta®, modelo CR -410, Japón) con tubo de proyección de luz con vidrio CR-A33e, iluminante D65 y un ángulo visual de 10°. Se determinaron los parámetros de color L^* , a^* , b^* , la diferencia total de color (ΔE^*) comparando los resultados durante el almacenamiento con el inicio (Ecuación 1) y el índice de amarillez (YI) (Ecuación 2), de acuerdo a Francis y Clydesdale (1975).

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

$$YI = 142,86 \frac{b^*}{L^*} \quad (2)$$

Para la determinación del color, se realizaron las mediciones en cinco puntos de la superficie, uno en el centro y los otros equidistantes del centro cerca del borde del recipiente.

2.2.2 Determinación de pH

La determinación de pH se realizó con un potenciómetro HI 99161 (HANNA Instruments) con un electrodo modelo FC 202D para alimentos sólidos y semisólidos, bajo medida directa en cinco diferentes puntos

del envase, uno en el centro y los otros equidistantes del centro cerca del borde del recipiente.

2.2.3 Determinación del contenido de materia seca

Se realizó según el método propuesto por [Álvarez et al. \(2005\)](#) donde una muestra de 5 g fue secada en estufa con aire forzado (MMM-Group®, modelo Venticell 111, Canadá) a una temperatura de 75 °C por un tiempo de 18 h. El contenido de materia seca se determinó a través del cociente del peso final entre el peso inicial.

2.2.4 Pruebas reológicas oscilatorias

Las propiedades viscoelásticas fueron evaluadas con un reómetro híbrido (DHR3 Discovery, TA Instruments, USA) con la geometría de tipo platos paralelos de superficie rugosa (SST ST XHATCH) de 40 mm de diámetro, gap de 1 mm, con accesorio para minimizar las pérdidas de agua. Se aplicó el método descrito por [Álvarez et al. \(2005\)](#), en el que 10 g de muestra, se pasa por un colador convencional (casero) y se mezcla con 10 g de agua, agitándose a 200 rpm en un agitador (Heidolph®, modelo MR-Hci-Tec, Alemania) a temperatura de 80 °C por 10 minutos. Las determinaciones se realizaron a 55 °C mantenidas por un sistema Peltier, con reposo de 3 minutos para la relajación de la muestra. Se realizaron dos tipos de ensayos dinámicos: (a) barrido de amplitud (0,1–100 Pa) para determinar la región de viscoelasticidad lineal a una frecuencia constante de 1 Hz; (b) barrido de frecuencia a una deformación constante (1 Pa) y en el rango de 0,01 – 10 Hz. Se obtuvieron los parámetros: módulo de almacenamiento o elástico (G'), módulo de pérdida o viscoso (G'') y ángulo de desfase (δ°).

La dependencia de G' y G'' con la frecuencia fue descrita empleando el modelo matemático simple del tipo Ley de la Potencia ([Ahmed y Ramaswamy, 2006a](#)), con las ecuaciones 3 y 4:

$$G' = k' \omega^{n'} \quad (3)$$

$$G'' = k'' \omega^{n''} \quad (4)$$

Estas medidas reológicas fueron determinadas cada cuatro semanas durante un total de 16 semanas.

2.2.5 Diseño experimental y Análisis Estadístico

Para comprobar el efecto del almacenamiento en congelación y de los tratamientos aplicados se empleó un DCA con arreglo factorial 2x3:6 tratamientos, donde los factores fueron: (a) variedad de papa: Amarilla Tumbay (AM) y Peruanita (PE); (b)

cocción: cocida sin pelar (SP), pelada-cocida sin aditivo (PSA) y pelada-acidificada-cocida (PCA). La existencia de un efecto significativo fue detectada bajo un ANOVA multifactorial con nivel de significancia del 5% seguida de una comparación de medias por el método de DUNCAN empleando el *software Statgraphics Centurion XVI 16.01.0003* (Stat Point Inc., Warrenton, VA, USA).

3. Resultados y discusión

3.1 Color

En general se observó que la variedad de papa, los tratamientos previos a la congelación y el tiempo de almacenamiento influyeron de forma significativa (con nivel de confianza de 95%) en el color de las muestras de papa cocida/prensada y congelada. Los resultados de las medidas de color L^* , a^* , b^* , ΔE^* e YI se muestran en la [Tabla 1](#).

Los valores promedio de L^* de las dos variedades en estudio, correspondientes a los diferentes tratamientos, al inicio del almacenamiento, fueron mayores para las muestras PCA (72,71) y menores para las muestras SP (66,95). Una tendencia similar se encontró para el b^* , con valores promedios de 49,92 y 43,81 para las muestras PCA y SP, respectivamente. Al final del almacenamiento, en promedio, la variedad Amarilla Tumbay presentó una mayor tendencia hacia los colores rojo ($a^* = 3,12$) y amarillo ($b^* = 43,91$) que la variedad Peruanita ($a^* = -2,56$ y $b^* = 39,76$). En relación a la luminosidad (L^*), los valores fueron menores en la variedad Amarilla Tumbay (65,73) que en la variedad Peruanita (66,31). Durante el almacenamiento en congelación, en general, el color amarillo (b^*) y la luminosidad (L^*) disminuyeron hasta la semana 10, después de lo cual se mantuvieron estables hasta la semana 16. Al respecto, [Álvarez et al. \(2005\)](#) encontraron que la congelación tuvo un efecto de oscurecimiento y una disminución en la luminosidad en las muestras de puré de papa blanca de la variedad Kennebec (*S. tuberosum*), con adición de leche, agua y sal antes de la cocción y congelación. Asimismo, su almacenamiento a -24 °C durante un año, provocó una pérdida del color comparado con el producto fresco. De manera similar, [Redmond et al. \(2002\)](#) encontraron un oscurecimiento (disminución de luminosidad) después de la congelación y descongelación de *flakes* de papa reconstituidos con agua, congelados en recipientes plásticos hasta una temperatura interna de -25 °C y almacenados a la misma temperatura durante 4 días para

luego ser descongelados a 4 °C. Los autores atribuyeron el oscurecimiento a la oxidación no enzimática durante la congelación, que ocurre al reaccionar ácido clorogénico y el hierro de la cáscara de la papa formándose el compuesto ácido ferridiclorogénico de color oscuro, causando la disminución de los valores de L* en las papas cocidas/prensadas y con más efecto en las que fueron cocidas con cáscara (Hughes y Evans, 1967; Deshpande, 1984).

En promedio, la diferencia total de color ΔE^* fue menor en la variedad Amarilla Tumbay (7,02) que en la variedad Peruanita (8,46). Asimismo, en el tratamiento PCA se obtuvo un valor promedio de ΔE^* menor (7,00) que en los tratamientos PSA (8,01) y SP (8,22). El parámetro ΔE^* indica la "cantidad total" de cambio de color, pero no su dirección.

Tabla 1

Medidas de color durante el almacenamiento en congelación de los diferentes tratamientos de papa amarilla cocida/prensada

Tratamiento	Semana	L* (luminosidad)	a* (rojo)	b* (amarillo)	ΔE^*	YI
AMSP	0	69,48 ± 1,14a	2,30 ± 0,02d	46,13 ± 0,47 ^a	0	94,84 ± 0,51 ^a
	2	69,32 ± 0,34a	2,84 ± 0,13 ^a	45,54 ± 1,11ab	0,92 ± 0,17 ^a	93,87 ± 0,80 ^a
	4	66,98 ± 0,78b	2,62 ± 0,07b	45,44 ± 1,27abc	2,64 ± 0,83 ^a	96,91 ± 0,25b
	6	64,65 ± 1,34c	2,50 ± 0,08cd	44,80 ± 0,83bc	5,03 ± 1,2b	98,99 ± 0,64c
	8	64,34 ± 0,33c	2,50 ± 0,10cd	44,42 ± 0,53bc	5,45 ± 0,26b	98,64 ± 1,22bc
	10	63,33 ± 1,13c	2,50 ± 0,06cd	44,36 ± 0,76bc	6,42 ± 0,73b	100,08 ± 0,82c
	12	63,33 ± 0,53c	2,75 ± 0,05ab	44,30 ± 0,44c	6,44 ± 0,55b	99,93 ± 0,31c
	16	63,33 ± 0,53c	2,55 ± 0,14bc	44,31 ± 0,44bc	6,43 ± 0,55b	99,96 ± 0,30c
AMPSA	0	71,76 ± 1,25a	3,49 ± 0,18 ^a	47,86 ± 0,35 ^a	0	95,28 ± 0,98 ^a
	2	71,71 ± 0,24a	4,05 ± 0,11 ^a	46,38 ± 0,74b	1,58 ± 0,56 ^a	92,40 ± 0,41bc
	4	68,87 ± 0,48b	3,29 ± 0,41 ^a	45,90 ± 1,53b	3,50 ± 0,18b	95,21 ± 0,87 ^a
	6	68,95 ± 1,19b	3,34 ± 0,89 ^a	44,52 ± 0,48c	4,37 ± 0,42b	92,24 ± 0,55bc
	8	67,53 ± 0,37c	3,33 ± 0,12 ^a	43,75 ± 1,33d	5,90 ± 0,64c	92,55 ± 0,64b
	10	66,19 ± 1,13d	3,32 ± 0,11 ^a	42,79 ± 1,84e	7,53 ± 0,35d	92,36 ± 0,13bc
	12	66,22 ± 0,02d	3,40 ± 0,11 ^a	42,16 ± 0,18e	7,95 ± 0,17d	90,95 ± 0,40bc
	16	66,21 ± 0,02d	3,45 ± 0,11 ^a	42,15 ± 0,18e	7,96 ± 0,23d	90,95 ± 0,30bc
AMPKA	0	71,3 ± 0,32a	3,67 ± 0,13ab	50,79 ± 1,30 ^a	0	101,77 ± 0,42 ^a
	2	70,14 ± 0,48b	4,35 ± 0,17 ^a	48,13 ± 0,47b	2,98 ± 0,56 ^a	98,03 ± 0,66b
	4	69,03 ± 1,47c	3,41 ± 0,46b	43,20 ± 2,83c	5,13 ± 0,53ab	95,61 ± 0,41c
	6	68,92 ± 1,37cd	3,39 ± 0,22b	46,14 ± 1,25cd	5,23 ± 1,01ab	95,64 ± 0,52c
	8	68,12 ± 0,31cde	3,42 ± 0,01b	45,29 ± 0,99cd	6,36 ± 0,68b	94,98 ± 0,63c
	10	67,93 ± 0,82de	3,41 ± 0,02b	45,28 ± 0,36cd	6,46 ± 0,93b	95,23 ± 0,53c
	12	67,71 ± 0,63e	3,45 ± 0,45ab	45,27 ± 1,19d	6,59 ± 1,01b	95,51 ± 1,13c
	16	67,7 ± 0,63e	3,48 ± 0,45b	45,26 ± 1,19cd	6,60 ± 0,68b	95,51 ± 0,75c
PEPSP	0	66,41 ± 1,60a	-2,24 ± 0,13ac	41,50 ± 1,00a	0	89,27 ± 0,79 ^a
	2	66,20 ± 0,99bc	-1,99 ± 0,14ab	39,92 ± 2,14ab	1,61 ± 0,73 ^a	86,15 ± 0,40b
	4	66,17 ± 0,18c	-1,63 ± 0,31b	37,83 ± 2,17c	3,73 ± 0,20b	81,67 ± 1,10c
	6	62,60 ± 0,73d	-1,62 ± 0,40b	35,13 ± 0,61d	7,45 ± 0,63c	80,17 ± 0,88cd
	8	61,07 ± 0,43e	-1,59 ± 0,11b	34,53 ± 2,83d	8,80 ± 0,40c	80,78 ± 0,25c
	10	60,11 ± 2,24e	-1,62 ± 0,12b	33,15 ± 1,21e	10,48 ± 0,09d	78,79 ± 0,79de
	12	60,04 ± 1,53e	-2,75 ± 0,11c	32,98 ± 1,60e	10,65 ± 0,56d	78,47 ± 0,72de
	16	60,04 ± 1,53e	-1,66 ± 0,11b	32,52 ± 1,60e	11,03 ± 0,39d	77,38 ± 0,14e
PEPSA	0	74,36 ± 0,55a	-3,05 ± 0,13abcd	49,71 ± 0,45 ^a	0	95,50 ± 0,24 ^a
	2	73,76 ± 0,82a	-2,49 ± 0,15bcd	47,47 ± 1,13b	2,39 ± 0,33 ^a	91,94 ± 0,73b
	4	71,52 ± 0,45b	-2,40 ± 0,11cd	45,91 ± 0,95c	4,79 ± 0,42bc	91,70 ± 0,65b
	6	71,42 ± 2,76b	-3,25 ± 0,55ab	44,38 ± 1,40d	6,09 ± 0,21bc	88,77 ± 0,41c
	8	69,93 ± 1,01c	-3,25 ± 0,17ab	43,54 ± 1,60e	7,60 ± 0,68cd	88,95 ± 0,31c
	10	69,47 ± 0,64c	-3,27 ± 0,57d	43,33 ± 1,96e	8,04 ± 0,40d	89,10 ± 0,77c
	12	69,56 ± 1,16c	-3,28 ± 0,17ab	43,30 ± 0,09e	8,01 ± 0,74d	88,93 ± 0,24c
	16	69,56 ± 1,16c	-3,22 ± 0,17abc	43,30 ± 0,09e	8,01 ± 0,74d	88,93 ± 0,24c
PEPKA	0	74,12 ± 0,36a	-3,00 ± 0,2 ^a	49,04 ± 1,07 ^a	0	94,52 ± 1,26 ^a
	2	74,04 ± 0,46a	-2,63 ± 0,12 ^a	48,03 ± 0,79b	1,08 ± 0,63a	92,67 ± 0,09b
	4	71,97 ± 0,33b	-2,63 ± 0,22 ^a	47,45 ± 0,70b	2,70 ± 0,27b	94,19 ± 0,60ab
	6	70,76 ± 0,52c	-2,67 ± 0,20 ^a	46,19 ± 1,01c	4,42 ± 0,08c	93,25 ± 0,54ab
	8	69,36 ± 0,28d	-2,63 ± 0,12 ^a	43,87 ± 1,00d	7,04 ± 0,35d	90,36 ± 0,65c
	10	69,36 ± 0,48d	-2,61 ± 0,12 ^a	43,76 ± 1,28d	7,12 ± 0,34d	90,13 ± 0,73c
	12	69,33 ± 0,03d	-2,65 ± 0,18 ^a	43,59 ± 1,37d	7,26 ± 0,28d	89,82 ± 0,30c
	16	69,32 ± 0,03d	-2,64 ± 0,18 ^a	43,50 ± 1,37d	7,34 ± 0,09d	89,65 ± 0,39c
PEPCA	0	74,12 ± 0,36a	-3,00 ± 0,2 ^a	49,04 ± 1,07 ^a	0	94,52 ± 1,26 ^a
	2	74,04 ± 0,46a	-2,63 ± 0,12 ^a	48,03 ± 0,79b	1,08 ± 0,63a	92,67 ± 0,09b
	4	71,97 ± 0,33b	-2,63 ± 0,22 ^a	47,45 ± 0,70b	2,70 ± 0,27b	94,19 ± 0,60ab
	6	70,76 ± 0,52c	-2,67 ± 0,20 ^a	46,19 ± 1,01c	4,42 ± 0,08c	93,25 ± 0,54ab
	8	69,36 ± 0,28d	-2,63 ± 0,12 ^a	43,87 ± 1,00d	7,04 ± 0,35d	90,36 ± 0,65c
	10	69,36 ± 0,48d	-2,61 ± 0,12 ^a	43,76 ± 1,28d	7,12 ± 0,34d	90,13 ± 0,73c
	12	69,33 ± 0,03d	-2,65 ± 0,18 ^a	43,59 ± 1,37d	7,26 ± 0,28d	89,82 ± 0,30c
	16	69,32 ± 0,03d	-2,64 ± 0,18 ^a	43,50 ± 1,37d	7,34 ± 0,09d	89,65 ± 0,39c

AM: variedad Ambo Tumbay; PE: variedad Peruanita; SP: sin pelar; PSA: pelada sin ácido; PCA: pelada con ácido.

Para indicar en qué dirección cambia la intensidad del amarillo con respecto a la luminosidad en productos a base de papa, es mejor usar parámetros como el índice de amarillez (YI), sugerido por Hirschler (2012). En promedio, al final del almacenamiento, el índice de amarillez (YI) fue mayor en la variedad Amarilla Tumbay (95,49) que en la variedad Peruanita (85,31), lo cual indica que mantuvo más su intensidad amarilla. En relación a los tratamientos, las muestras PCA tuvieron un mayor YI (92,54) que las demás (PSA = 89,91; SP = 88,75), lo cual indica que fueron más estables en cuanto a intensidad. Aunque no exista investigaciones relacionadas con los tratamientos trabajados, Fernández et al. (2008) estudiaron los valores de YI en puré de papas con adición de biopolímeros y reportaron valores muy

por debajo de los obtenidos en el presente trabajo. Fernández et al. (2008) usaron papa blanca variedad Kennebec (*Solanum tuberosum*) con adición de leche, mantequilla y sal, a diferencia del presente estudio donde se trabajó con papa amarilla (*Solanum goniocalyx*) sin adición de otros insumos.

3.2 pH

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos del pH de las muestras almacenadas en congelación durante 16 semanas. Se observa en todos los tratamientos que el pH del puré de papa almacenada en congelación disminuye significativamente ($p < 0,05$), aunque con una estabilización después de la semana 12, aproximadamente.

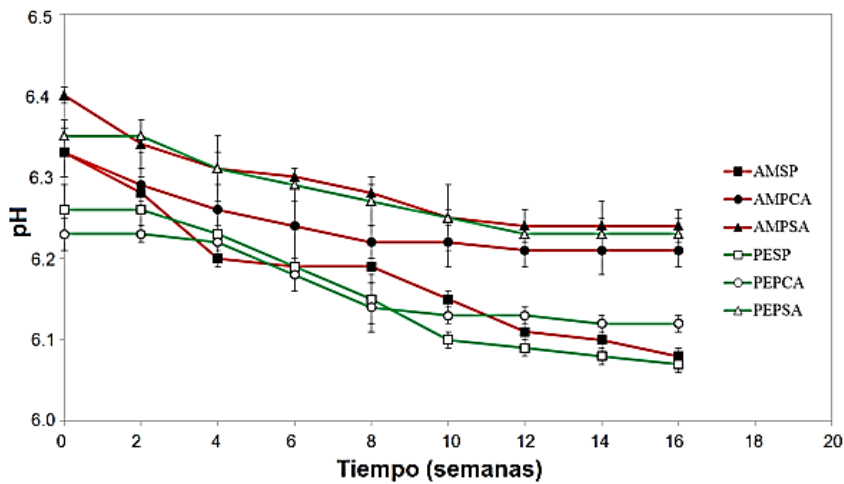


Figura 1. Variación del pH durante el almacenamiento en congelación de los diferentes tratamientos de papa amarilla cocida/prensada.

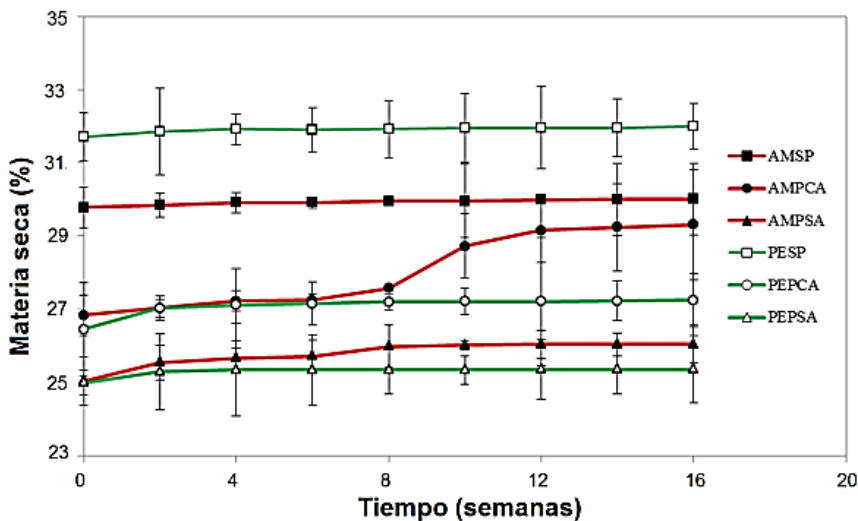


Figura 2. Evolución del contenido de materia seca durante el almacenamiento en congelación de los diferentes tratamientos de papa amarilla cocida/prensada.

El pH inicial estuvo comprendido entre 6,23 - 6,40 y tras las 16 semanas de almacenamiento congelado, se redujo a 6,07 - 6,24. Estos valores son similares a lo reportado por Fernández *et al.* (2009) en puré de papa de la variedad Kennebec (6,20) con una también tendencia decreciente con el tiempo de almacenamiento (6,17). Entre todos los tratamientos, las muestras tratadas con ácido cítrico (AMPCA y PEPCA) fueron las que presentaron menor variación del pH después de 16 semanas de almacenamiento (0,12 y 0,11 respectivamente).

3.3 Contenido de materia seca

Las papas cocidas sin pelar (SP) presentan mayor porcentaje inicial de materia seca, siendo 29,78% y 31,71% para las variedades Amarilla Tumbay y Peruanita, respectivamente (Figura 2), probablemente la cáscara generaría una barrera a la lixiviación de sólidos y otros compuestos durante la cocción. Por otro lado, durante el almacenamiento se observa en todos los tratamientos un ligero incremento en el porcentaje de materia seca, siendo más significativo en las muestras tratadas con ácido cítrico, alcanzando incrementos de 2,47% y 0,8% para AMPCA y PEPCA, respectivamente. Este resultado se debe principalmente a la pérdida del agua superficial del producto durante el almacenamiento en congelación, provocada por diferencia de presiones de vapor, lo que causa deshidratación del alimento (Fernández *et al.*, 2009; Álvarez *et al.*, 2005).

La sublimación de hielo en la superficie del producto puede producirse a lo largo de la conservación de aquellos productos que no se han envasado adecuadamente y es acelerada por fluctuaciones de la temperatura, causando la desecación del mismo con la consiguiente acumulación del agua extraída en forma de escarcha en el interior del envase (Canet, 1988), no obstante la magnitud de esta deshidratación no es del orden reportados por otras investigaciones, en los que implica modificaciones en propiedades importantes como la textura, esto debido principalmente por la baja fluctuación de la temperatura durante el almacenamiento.

3.4 Pruebas reológicas oscilatorias

Las pruebas del barrido de amplitud indican que en ambas variedades la región de viscoelasticidad lineal se encuentra en el rango de 0,1 – 10 Pa, por lo que se seleccionó 1 Pa como esfuerzo de cizalla para continuar con las pruebas de barrido de frecuencia.

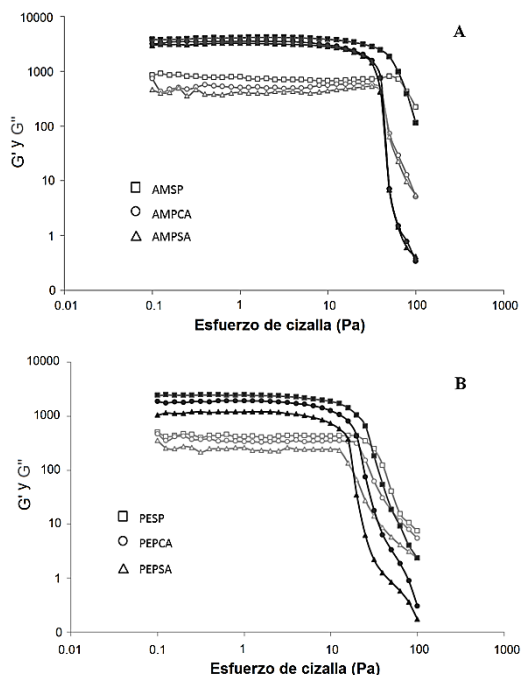


Figura 3. Barrido de amplitud de los tratamientos A) AMSP, AMPCA y AMPSA; B) PESP, PEPCA y PEPSA; al inicio del almacenamiento.

En la Figura 3 se presenta el barrido de amplitud para las variedades Amarilla Tumbay y Peruanita, donde se observa en ambos casos que la extensión de la región de viscoelasticidad lineal se diferencia entre los tratamientos SP, PSA y PCA. La extensión de la región de viscoelasticidad lineal puede ser usada como un índice de estabilidad y extensibilidad del material (Campo-Deaño *et al.*, 2009). Los tratamientos sin pelar (AMSP y PESP) presentan cambios en ambos módulos a mayores esfuerzos de cizalla que los tratamientos con pelado (AMPCA, AMPSA, PEPCA y PEPSA) lo que indicaría la facilidad en la ruptura de la estructura del gel en éstos últimos.

De acuerdo a lo reportado en la Tabla 2, la variedad Peruanita presentó los mayores valores del ángulo δ para los tratamientos de la papa cocida pelada con adición de ácido cítrico en el tiempo 0, durante y al final del almacenamiento (12,6 a 10,0°). Mayores valores del ángulo δ significa que el alimento se acerca más hacia una tendencia fluida (Ozkan *et al.*, 2002). En tanto que para la misma variedad el tratamiento de cocción sin pelar presentó mayor acercamiento a un comportamiento elástico con menores valores del ángulo δ (9,8 a 8,3°). Un ángulo de fase (δ) de 90° indica que el material es completamente viscoso mientras que un material elástico se caracteriza por valores del ángulo de

fase próximos a 0° (Ahmed y Ramaswamy 2006 a,b).

La variedad Amarilla Tumbay presentó en general menores valores de ángulo de fase δ (10,7 a 7,4°). Álvarez et al. (2004) reportaron un valor del ángulo δ de 11,0 para puré de papa congelado/descongelado evaluado a 55 °C.

En la misma Tabla 2 se observa que G' fue siempre mayor que G'' lo que indica que las propiedades elásticas dominan a las viscosas (Augusto et al., 2012). Esta misma tendencia fue reportada por Fernández (2008) con preparaciones de purés de papas con otros ingredientes (leche, sal, crioprotectores) frescos, congelado/descongelado y por Martínez et al. (2015) quienes trabajaron con geles de almidones de papa de diferentes variedades. El almidón es el componente principal de la materia seca de este tubérculo y al que se le atribuye una contribución importante en el comportamiento reológico y características de textura de papa cocida y productos elaborados a partir de ésta.

Los módulos de almacenamiento y pérdida y la frecuencia oscilatoria presentaron un buen ajuste al modelo tipo ley de la potencia ($R^2 > 0,92$). En la Tabla 2 se presentan los valores de los parámetros n' , k' , n'' , k'' . Los valores de n'' fueron mayores que n' , indicando una dependencia superior de G'' con la frecuencia, y que el comportamiento viscoso se hace más importante a altas frecuencias mientras que el comportamiento elástico es más independiente de la frecuencia (Augusto et al., 2011; Rao, 2013). También, es interesante notar que, al transcurrir el tiempo, en todos los tratamientos los valores n' van disminuyendo mientras que los valores de n'' van en aumento, a pesar de que estas diferencias no son significativas ($p > 0,05$) excepto en los valores de n'' para AMPCA. Esta tendencia claramente demuestra que el comportamiento viscoso se vuelve aún más importante al ser almacenados más tiempo; y que, a la vez, se atenúa la independencia del comportamiento elástico hacia la frecuencia oscilatoria en los productos (Augusto et al., 2012).

Tabla 2

Parámetros de viscoelasticidad encontrados durante el almacenamiento en congelación de los diferentes tratamientos de papa cocida/prensada

Tratamiento (semana)	δ (°)*	G' (Pa)*	G'' (Pa)*	n'	k' (Pa.s ⁿ)	n''	k'' (Pa.s ⁿ)
PEPSP							
0	9,8 ± 0,5 a	2145,1 ± 98,4 a	373,0 ± 21,6 a	0,13 ± 0,01 a	2051,9 ± 77,4 a	0,20 ± 0,01 a	347,2 ± 28,4 a
4	8,6 ± 0,5 b	2291,1 ± 131,3 b	346,3 ± 9,6 b	0,13 ± 0,01 a	2178,2 ± 103,1 a	0,20 ± 0,01 a	334,4 ± 24,2 a
8	8,3 ± 0,2 b	2301,1 ± 39,0 b	336,0 ± 14,6 b	0,13 ± 0,00 a	2191,4 ± 104,1 a	0,20 ± 0,01 a	329,3 ± 28,0 a
12	8,3 ± 0,1 b	2305,1 ± 37,0 b	335,0 ± 8,8 b	0,13 ± 0,00 a	2194,1 ± 100,0 a	0,20 ± 0,01 a	328,3 ± 23,6 a
16	8,3 ± 0,1 b	2305,1 ± 37,4 b	334,6 ± 10,2 b	0,13 ± 0,00 a	2195,6 ± 102,0 a	0,20 ± 0,01 a	328,0 ± 28,9 a
PEPCA							
0	12,6 ± 0,3 a	1186,2 ± 39,5 a	272,2 ± 1,0 a	0,16 ± 0,05 a	1105,2 ± 71,8 a	0,19 ± 0,04 a	248,8 ± 19,9 a
4	10,2 ± 0,4 b	1269,6 ± 109,9 ab	228,6 ± 16,2 ab	0,14 ± 0,02 a	1209,6 ± 35,9 b	0,22 ± 0,01 a	218,7 ± 9,5 b
8	10,0 ± 0,5 b	1292,6 ± 40,6 b	227,6 ± 9,8 ab	0,14 ± 0,01 a	1232,6 ± 66,1 b	0,23 ± 0,01 a	217,2 ± 15,3 b
12	10,0 ± 0,4 b	1297,4 ± 116,5 b	226,9 ± 2,8 ab	0,14 ± 0,01 a	1237,2 ± 41,3 b	0,23 ± 0,03 a	216,9 ± 12,4 b
16	10,0 ± 0,5 b	1363,3 ± 53,8 b	226,4 ± 9,4 b	0,14 ± 0,01 a	1238,1 ± 38,6 b	0,23 ± 0,02 a	216,8 ± 10,9 b
PEPSA							
0	12,1 ± 2,1 a	854,1 ± 5,4 a	186,3 ± 36,7 a	0,15 ± 0,03 a	819,1 ± 52,8 a	0,20 ± 0,03 a	166,5 ± 11,9 a
4	10,2 ± 1,3 ab	856,1 ± 58,4 a	155,3 ± 14,7 ab	0,13 ± 0,01 a	841,6 ± 66,5 a	0,22 ± 0,02 a	146,7 ± 12,3 a
8	10,1 ± 0,9 ab	866,3 ± 38,6 a	155,1 ± 7,9 ab	0,13 ± 0,01 a	848,3 ± 47,3 a	0,23 ± 0,01 a	145,9 ± 11,5 a
12	10,5 ± 0,6 ab	879,9 ± 37,1 a	147,8 ± 12,4 b	0,13 ± 0,01 a	849,7 ± 41,9 a	0,23 ± 0,02 a	145,8 ± 12,9 a
16	9,4 ± 1,5 b	881,6 ± 66,8 a	144,5 ± 13,0 b	0,13 ± 0,01 a	849,9 ± 42,2 a	0,23 ± 0,02 a	145,7 ± 11,6 a
AMSP							
0	10,7 ± 0,9 a	2871,3 ± 195,7 a	456,1 ± 15,9 a	0,15 ± 0,03 a	2563,5 ± 100,8 a	0,17 ± 0,03 a	460,8 ± 22,1 a
4	9,3 ± 0,5 ab	2817,8 ± 59,4 a	460,8 ± 36,2 ab	0,14 ± 0,01 a	2640,4 ± 107,2 a	0,19 ± 0,00 ab	417,9 ± 34,7 ab
8	8,7 ± 0,9 b	2792,9 ± 109,6 a	420,7 ± 28,2 b	0,13 ± 0,01 a	2663,8 ± 107,2 a	0,21 ± 0,02 ab	398,9 ± 28,2 b
12	8,4 ± 0,1 b	2792,4 ± 90,7 a	404,7 ± 7,2 b	0,13 ± 0,01 a	2668,5 ± 102,6 a	0,21 ± 0,03 ab	395,1 ± 26,4 b
16	8,3 ± 0,2 b	2788,9 ± 77,9 a	402,2 ± 8,7 c	0,13 ± 0,01 a	2669,4 ± 104,9 a	0,22 ± 0,02 b	394,0 ± 35,6 b
AMPCA							
0	10,6 ± 1,8 a	2410,4 ± 25,7 a	442,9 ± 53,1 a	0,14 ± 0,03 a	2189,9 ± 88,3 a	0,17 ± 0,05 a	393,0 ± 14,3 a
4	8,0 ± 0,2 b	2577,3 ± 68,3 b	367,2 ± 5,4 b	0,14 ± 0,00 a	2445,7 ± 23,9 b	0,20 ± 0,01 ab	349,3 ± 25,9 b
8	7,5 ± 0,3 b	2639,0 ± 92,4 b	344,2 ± 26,8 b	0,13 ± 0,01 a	2493,1 ± 84,0 b	0,25 ± 0,01 b	348,7 ± 17,1 b
12	7,4 ± 0,9 b	2657,3 ± 100,2 b	344,1 ± 29,6 b	0,12 ± 0,01 a	2502,5 ± 54,0 b	0,25 ± 0,03 b	348,5 ± 21,5 b
16	7,4 ± 0,3 b	2658,3 ± 101,0 b	344,0 ± 28,2 b	0,12 ± 0,01 a	2504,4 ± 39,0 b	0,25 ± 0,02 b	348,5 ± 23,7 b
AMPSA							
0	10,3 ± 1,5 a	2119,6 ± 131,6 a	474,1 ± 37,9 a	0,13 ± 0,03 a	1987,6 ± 50,0 a	0,15 ± 0,06 a	344,8 ± 30,0 a
4	9,1 ± 0,7 b	2356,8 ± 25,7 b	377,0 ± 10,4 b	0,11 ± 0,02 a	2349,4 ± 98,8 b	0,17 ± 0,01 a	330,4 ± 27,2 a
8	9,1 ± 0,4 b	2459,2 ± 87,0 b	390,6 ± 31,0 b	0,12 ± 0,00 a	2406,1 ± 93,0 b	0,20 ± 0,01 a	329,8 ± 24,7 a
12	9,1 ± 0,6 b	2424,8 ± 27,1 b	390,7 ± 30,7 b	0,10 ± 0,01 a	2417,5 ± 105,9 b	0,20 ± 0,03 a	329,7 ± 28,9 a
16	9,1 ± 0,6 b	2424,8 ± 32,9 b	390,7 ± 30,5 b	0,10 ± 0,01 a	2419,7 ± 99,4 b	0,20 ± 0,02 a	329,7 ± 26,1 a

AM: variedad Ambo Tumbay; PE: variedad Peruanita; SP: sin pelar; PSA: pelada sin ácido; PCA: pelada con ácido.

*Los valores de G' , G'' y δ fueron calculados a una frecuencia de 1 rad/s.

Álvarez et al. (2005) atribuyen que los cambios en las propiedades reológicas durante el almacenamiento en congelación, están relacionados con las recristalizaciones, asociadas con cambios en el tamaño, número, forma y orientación de los cristales de hielo, causadas posiblemente por ligeras fluctuaciones de la temperatura al aumentar el tiempo de conservación al estado congelado. Ello es probablemente la causa de un mayor grado de ruptura y daño mecánico en la estructura celular. En cuanto a los valores de k' y k'' se puede observar que, en todos los tratamientos, los valores k' son mayores que los de k'' demostrando nuevamente que las propiedades elásticas del alimento prevalecen sobre las viscosas (Rao, 2013). Se nota también que en algunos tratamientos (PESP, PEPSA) los valores de k' y k'' no presentaron diferencias significativas con el almacenamiento o en la mayoría de los casos el comportamiento de estos parámetros no varió a partir de las 4 semanas de almacenamiento.

4. Conclusiones

El color, pH y contenido de materia seca de las variedades de papa Amarilla Tumbay y Peruanita cocidas/prensadas y congeladas se ven afectadas de manera significativa al ser almacenadas por 16 semanas en congelación ($p < 0,05$). Con relación a las propiedades de color, se observó cambios de L^* , b^* y YI , menos pronunciados en los tratamientos con inmersión en ácido cítrico. La tendencia fue similar para el pH. En promedio, las propiedades viscoelásticas relacionadas con la textura y la estructura interna del producto permanecieron estables a lo largo del almacenamiento, con valores del módulo de almacenamiento (G') más elevados que los del módulo de pérdida (G'') en todo el intervalo de frecuencia estudiado, valores del ángulo de fase entre 7,4-12,6, indicando el predominio de las propiedades elásticas sobre las viscosas y exhibiendo un comportamiento reológico más próximo a las de un gel débil. El módulo viscoso con una pendiente n'' manifestó una dependencia mayor con la frecuencia comparado con el módulo elástico con pendiente n' . El cambio moderado de algunas propiedades y la estabilidad de otras permite concluir la adaptabilidad de estas variedades a este proceso. No obstante, los estudios publicados que evidencian la alta relación entre los parámetros evaluados en esta investigación y atributos sensoriales determinantes para la aceptación de productos elaborados a partir de papa

cocida, como por ejemplo puré de papa reconstituido, sugieren realizar estudios futuros de aceptación sensorial.

Agradecimientos

La presente investigación fue posible gracias al financiamiento del Proyecto Innóvate -código PITEI-3-P-192-237-15, promovido por la empresa Agropecuaria Esmeralda S.A. en asociación con la Universidad Nacional Agraria La Molina. Se extiende el agradecimiento a los profesores, técnicos y personal administrativo que colaboraron para la realización del presente trabajo de investigación.

Referencias Bibliográficas

- Ahmed, J.; Ramaswamy, H. 2006a. Viscoelastic properties of sweet potato puree infant food. *Journal of Food Engineering* 74: 376-382.
- Ahmed, J.; Ramaswamy, H. 2006b. Viscoelastic and thermal characterization of vegetable puree-based baby foods. *Journal of Food Process Engineering* 29: 219-233.
- Álvarez, M.D.; Fernández, C.; Solas, M.T.; Canet, W. 2011. Viscoelasticity and microstructure of inulin-enriched mashed potatoes: influence of freezing and cryoprotectants. *Journal of Food Engineering* 102: 66-76.
- Álvarez, M.D.; Fernández, C.; Canet, W. 2005. Effect of freezing/thawing conditions and long-term frozen storage on the quality of mashed potatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85: 2327-2340.
- Álvarez, M.D.; Fernández, C.; Canet, W. 2004. Rheological behaviour of fresh and frozen potato puree in steady and dynamic shear at different temperatures. *European Food Research and Technology* 218: 544-553.
- Augusto, P.; Cristianini, M.; Ibarz, A. 2012. Effect of temperature on dynamic and steady-state shear rheological properties of siriguella (*Spondias purpurea* L.) pulp. *Journal of Food Engineering* 108: 283-289.
- Augusto, P.; Falguera, V.; Cristianini, M.; Ibarz, A. 2011. Influence of fibre addition on the rheological properties of peach juice. *International Journal of Food Science and Technology* 46: 1086-1092.
- Bártová, V.; Bárta, J.; Brabcová, A.; Zdráhal, Z.; Horácková, V. 2015. Amino acid composition and nutritional value of four cultivated South American potato species. *Journal of Food Composition and Analysis* 40: 78-85.
- Brown, C.R.; Culley, D.; Bonierbale, M.; Amorós, W. 2007. Anthocyanin, carotenoid content, and antioxidant values in native South American potato cultivars. *HortScience* 42: 1733-1736.
- Calder, B.L.; Cowles, E.A.; Davis-Dentici, K.; Bushway, A.A. 2012. The effectiveness of antibrowning dip treatments to reduce after-cooking darkening in potatoes. *Journal of Food Science* 77: S342-S347.
- Campo-Deaño, L.; Tovar, C.A.; Pombo, M.J.; Solas, M.T.; Borderías, A.J. 2009. Rheological study of giant squid surimi (*Dosidicus gigas*) made by two methods with different cryoprotectants added. *Journal of Food Engineering* 94: 26-33.
- Canet, W. 1988. Temperatura de conservación y calidad de vegetales congelados. En: *Alimentación, Equipos y Tecnología*. Ed. Reed Business Information. Bilbao, España. Pp. 145-156.
- CIP (Centro Internacional de la Papa). 2006. *La Papa tesoro de los Andes. De la agricultura a la cultura*. 2da Edición. Perú. 210 pp.
- Deshpande, S. 1984. Nutritional and toxicological aspects of food safety. En: *Friedman, M. (Ed.) Plenum Publisher, New York*. Pp. 457 – 495.

- Fernández, C.F. 2008. Caracterización reológica y optimización de la textura de purés de patata frescos y congelados: efectos del proceso y adición de crioprotectores. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Madrid. España.
- Fernández, C.; Álvarez, M.D.; Canet, W. 2008. Steady shear and yield stress data of fresh and frozen/thawed mashed potatoes: effect of biopolymers addition. *Food hydrocolloids* 22(8): 1381 – 1395.
- Fernández, C.; Canet, W.; Álvarez, M.D. 2009. The effect of long-term frozen storage on the quality of frozen and thawed mashed potatoes with added cryoprotectant mixtures. *International Journal of Food Science and Technology* 44: 1373-1387.
- Francis, F.J.; Clydesdale, F.M. 1975. Development of the CIE system. En: *Food colorimetry: theory and applications*. Editorial The Avi Publishing Company. Connecticut, EE.UU. Pp: 61-72.
- Fuentes, C.; Adachi Kanashiro, L.; Meléndez, R.; Pajares, D.; Vera, L.; Vidal, C. 2009. Planta de puré instantáneo de papas nativas en Cajamarca. 1ra Edición. ESAN Ediciones. Serie Gerencia Global 11. Lima, Perú. 184 pp.
- Hirschler, R. 2012. Whiteness, yellowness, and browning in food colorimetry. En: *Color in Food: Technological and Psychophysical Aspects*. Editorial J.L. Caivano & Buera M.P. EE.UU. Pp. 93-104.
- Hughes, J.C.; Evans, J.L. 1967. Studies on after-cooking blackening in potatoes IV. Field experiments. *European Potato Journal* 10: 16-36.
- Martínez, P.; Málaga, A.; Betalleluz, I.; Ibarz, A.; Velezmoro, C. 2015. Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas. *Scientia Agropecuaria* 6: 291 – 301.
- Ozkan, N.; Xin, H.; Chen, D. 2002. Application of a depth sensing indentation hardness test to evaluate the mechanical properties of food materials. *Food Engineering and Physical Properties* 67: 1814-1820.
- Phinney, D.M.; Frelka, J.C.; Wickramasinghe, A.; Heldman, D.R. 2017. Effect of freezing rate and microwave thawing on texture and microstructural properties of potato (*Solanum tuberosum*). *Journal of Food Science* 82: 933-938.
- Rao, M.A. 2013. Flow and functional models for rheological properties of fluid foods. En: *Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications*. 3ra Edición. Editado por M.A. Rao. Pp: 27-57.
- Redmond, G.A.; Butler, F.; Gormley, T.R. 2002. The effect of freezing conditions on the quality of Freeze-chilled reconstituted mashed potato. *LWT-Food Science and Technology* 35: 201-204.
- Tsouvaltzi, P.; Brecht, J.K. 2017. Inhibition of enzymatic browning of fresh-cut potato by immersion in citric acid is not solely due to pH reduction of the solution. *Journal of Food Processing and Preservation* 41: 1-9.
- Ullah, J.; Takhar, P.S.; Sablani, S.S. 2014. Effect of temperature fluctuations on ice-crystal growth in frozen potatoes during storage. *LWT-Food Science and Technology* 59: 1186-1190.
- Waglay, A.; Karboune, S.; Alli, I. 2014. Potato protein isolates: recovery and characterization of their properties. *Food chemistry* 142: 373-382.