

Efecto de la extrusión alcalina en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina integral de maíz andino

Effect of alkaline extrusion on the physicochemical and functional properties of the whole andean corn flour

Efeito da extrusão alcalina nas propriedades físico-químicas e funcionais da farinha de milho andino

 NATALIA ESTER DOMÍNGUEZ (1)

 RITA MARISOL MIRANDA (1)

 MARÍA ALEJANDRA GIMÉNEZ (1)

 MANUEL OSCAR LOBO (1)

 NORMA CRISTINA SAMMÁN (1)

(1) Centro Interdisciplinario de Investigaciones en Tecnologías y Desarrollo Social para el NOA (CIITeD)-CONICET. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, San Salvador de Jujuy, Argentina.

RECIBIDO: 19/10/2021 → APROBADO: 3/11/2022 ✉ ndominguez@ciited.unju.edu.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar las propiedades tecnofuncionales de la harina de maíz cuzco extrudida alcalina (HMEA), obtenida por el agregado de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en el proceso de extrusión, y compararla con las de una harina de maíz obtenida por un proceso de extrusión tradicional (HME). La harina nativa se acondicionó a humedades de 30, 35, 40 y 45% (p/p) y fue extrudida en un extrusor monotornillo a 80 °C. Para la extrusión alcalina se adicionó 0,25 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /100 g de harina. El agregado de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en el proceso de extrusión afectó significativamente las propiedades tecnofuncionales de la HMEA, aumentando el índice de solubilidad (ISA), y disminuyendo el índice de absorción de agua (IAA) y la capacidad de retención de aceite (CRA) respecto a la HME. El tratamiento alcalino disminuyó el grado de gelatinización respecto a la HME, obteniendo valores entre 31,80 y 57,90% y aumentando la temperatura de gelatinización de 69 a 73 °C. La firmeza de los geles varió de 0,26 a 0,33 N para HMEA, y de 0,50 a 0,77 N para HME. La extrusión alcalina modificó las propiedades tecnofuncionales de la harina de maíz cuzco, disminuyendo la absorción de agua y controlando el grado de gelatinización, obteniéndose harinas con grado de cocción intermedio.

Palabras clave: harina modificada, grano entero, propiedades tecnofuncionales.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the techno-functional properties of alkaline extruded Cuzco corn flour (HMEA) obtained by $\text{Ca}(\text{OH})_2$ addition in the extrusion process and to compare it with those of corn flour obtained by a traditional extrusion process (HME). The native meal was conditioned at moistures of 30, 35, 40 and 45% (w/w) and extruded in a single-screw extruder at 80 °C. For alkaline extrusion, 0.25 g of $\text{Ca}(\text{OH})_2/100$ g of flour was added. The addition of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in the extrusion process significantly affected the techno-functional properties of HMEA by increasing the solubility index (WSI), decreasing the water absorption index (WAI) and oil retention capacity (ORC) with respect to those of HME. The alkaline treatment decreased the degree of gelatinization with respect to HMEA, obtaining values between 31.80 and 57.90% and increasing the initial gelatinization temperature from 69 to 73 °C. The gel firmness of the treated flours ranged from 0.26 to 0.33 N and 0.50 to 0.77 N for HMEA and HME respectively. Alkaline extrusion modifies the techno-functional properties of cuzco corn flour by reducing its water absorption and controlling the degree of gelatinization, obtaining flours with an intermediate cooking degree.

Keywords: modified flour, whole grain, techno-functional properties.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar as propriedades tecnofuncionais da farinha de milho cuzco extrudada alcalina (HMEA) obtida por adição de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ no processo de extrusão e compará-la com as da farinha de milho obtida por um processo de extrusão tradicional (HME). A refeição nativa foi condicionada até a humidade de 30, 35, 40 e 45% (p/p) e extrudada numa extrusora de parafuso único a 80 °C. Para a extrusão alcalina, adicionouse 0,25 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2/100$ g de farinha. A adição de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ no processo de extrusão afetou significativamente as propriedades tecnofuncionais do HMEA, aumentando o índice de solubilidade (ISA), diminuindo o índice de absorção de água (IAA) e a capacidade de retenção de óleo (ORC) em relação às do HME. O tratamento alcalino diminuiu o grau de gelatinização em relação à HME, obtendo valores entre 31,80 e 57,90% e aumentando a temperatura de gelatinização de 69 para 73 °C. A firmeza dos géis variou entre 0,26 a 0,33 N e 0,50 a 0,77 N para HMEA e HME respectivamente. A extrusão alcalina modifica as propriedades tecnofuncionais da farinha de milho cuzco, diminuindo a absorção de água e controlando o grau de gelatinização, obtendo farinhas com grau de cozimento intermediário.

Palavras-chave: farinha modificada, grão integral, propriedades tecnofuncionais.

INTRODUCCIÓN

Las nuevas tendencias gastronómicas de cocina *gourmet*, en su permanente búsqueda de productos exóticos o pocos conocidos y en su afán de buscar nuevos sabores, favorecen indudablemente la difusión de cultivos andinos originarios. La promoción de estos

cultivos, mediante el uso y agregado de valor, constituye una estrategia de importancia económica para las poblaciones locales.

Los maíces nativos de la Quebrada de Humahuaca y los Valles andinos de Jujuy son una de las principales especies cultivadas de importancia socioeconómica para los pobladores locales y han representado la base de su cultura alimentaria durante siglos.

La aplicación de diferentes procesos tecnológicos que modifiquen las propiedades tecnofuncionales de diferentes harinas de cultivos andinos se ha vuelto un tema de interés, principalmente porque carecen de gluten, por lo que presentan un inconveniente tecnológico a la hora de aplicarlo en la elaboración de alimentos farináceos como pastas y panificados. Esto ha dado lugar a una serie de investigaciones que buscan imitar las propiedades viscoelásticas del gluten. De esta manera se han presentado nuevos usos para varios almidones y harinas no convencionales como la mandioca o yuca (Lorenzo, et al., 2008), la quinoa (Chillo, 2009) y el amaranto (Chillo, 2010; Mariotti, 2011), entre otros.

La extrusión-cocción es uno de los procesos termomecánicos ampliamente usados en la obtención de harinas pregelatinizadas. Es una tecnología muy versátil que provoca cambios estructurales en el almidón y las proteínas de las materias primas. Con este proceso se obtiene una masa constituida por los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina), mezclados con gránulos de almidón parcialmente gelatinizados, gránulos intactos, partes de endospermo y lípidos (Contreras-Jiménez, et al., 2016).

El tratamiento de las materias primas almidonosas con reactivos alcalinos, como sales de sodio y calcio, es un método muy usado en países asiáticos y de América Latina (por ejemplo, México) para obtener pastas y masas para tortillas con mejor elasticidad y firmeza (Guo, et al., 2017; Contreras-Jiménez, et al., 2016). La adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ incrementa el aporte de calcio y permite la interacción del ion divalente con el almidón, impartiendo propiedades funcionales deseadas a las harinas. Para los habitantes andinos del Norte Argentino, los maíces forman parte de su dieta habitual y utilizan el tratamiento alcalino como un pretratamiento para eliminar el pericarpio del maíz.

La extrusión alcalina es una buena alternativa para obtener harinas precocidas de maíces de la Quebrada Jujeña con propiedades tecnológicas mejoradas para ser aplicadas en la elaboración de pastas y panificados. Si bien existen trabajos de investigación acerca del uso de esta tecnología sobre el maíz (Contreras-Jiménez, et al., 2016; Bello-Pérez, et al., 2002; Gutiérrez-Dorado, et al., 2008), aun no fue estudiada su aplicación en la raza de maíz cuzco. Por otro lado, el tratamiento de extrusión alcalina realizado podría ser aplicado para obtener harinas que pueden utilizarse en la formulación de masas libres de gluten, sistemas que por lo general requieren la formación de estructuras estables que aporten extensibilidad y cohesividad adecuadas. Conocer el efecto de la tecnología de extrusión alcalina en las propiedades tecnofuncionales de la harina de maíz cuzco permitirá obtener una alternativa en el uso de estas harinas modificadas. Por ello, el objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la extrusión alcalina (con agregado de $\text{Ca}(\text{OH})_2$) sobre las propiedades tecnofuncionales de la harina integral de maíz cuzco (HMEA) y compararlas con las de una harina de maíz obtenida por un proceso de extrusión tradicional (HME).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se utilizó maíz blanco andino raza cuzco provisto por la cooperativa CAUQUEVA (Maimará, provincia de Jujuy, Argentina) y por el INTA-IPAF NOA (Maimará). Fue cosechado y posteriormente secado a temperatura ambiente de la zona (26 °C de día y 10 °C de noche, temperaturas promedio). La molienda integral de los granos de maíz se llevó a cabo en un molino de martillo (Polymix PX- MFC- 90 D Kinematica) hasta obtener una harina con tamaño de partícula menor a 450 µm, tamizada en malla N° 40 (ASTM-E-11-61).

Composición química

Se determinaron los contenidos de macronutrientes del maíz cuzco y las harinas precocidas obtenidas. Se emplearon los métodos analíticos AOAC: humedad (AOAC Internacional, 2005a), proteínas (AOAC Internacional, 2005b) y lípidos (AOAC Internacional, 2005c). La dureza del endospermo se determinó mediante la técnica del peso hectolitro (Vázquez-Carrillo, 2003).

El pH se midió con un medidor de pH calibrado. Las muestras (10 g) se suspendieron en 100 mL de agua destilada hervida. La suspensión se agitó (1.500 rpm, 25 °C, 20 min) utilizando un agitador orbital (modelo 21704-10; Cole Parmer International) (Gutiérrez-Dorado, et al., 2008).

Acondicionamiento de harinas

Doce horas antes de cada ensayo de extrusión se pesaron muestras de 200 g de harina, a la cual se le agregó agua destilada según los niveles de humedad elegidos para el proceso (30, 35, 40 y 45%), verificada por técnica de humedad (AOAC Internacional, 2005a). Para la extrusión alcalina, a las muestras se les adicionó 0,25 g de Ca(OH)₂/100 g de harina de maíz. Cada muestra se mezcló durante 3 min y luego se almacenó en una bolsa de polietileno, por 12 h en refrigeración (5 °C).

Extrusión

El proceso de extrusión se llevó a cabo en un equipo Extrusor Brabender (KE 19/25D, Alemania) monotornillo para obtener harina de maíz extruida (HME) y harina de maíz extruida alcalina (HMEA). Se utilizó un tornillo con una relación de longitud a diámetro 19:1 y una relación de compresión nominal 2:1. La velocidad de alimentación de las muestras acondicionadas fue de 20 rpm. La velocidad del tornillo fue de 60 rpm. El equipo extrusor manejó tres zonas de calentamiento: la primera zona (zona de alimentación) a 40 °C, la segunda (zona de compresión) a 60 °C y finalmente la tercera a 80 °C (zona de cocimiento). Los extrudidos se obtuvieron por una boquilla de 3 mm de diámetro y se recogieron en bandeja para su posterior secado.

Las muestras extrudidas se secaron en estufa a 30 °C durante 12 h. Luego se molieron en molino de martillo y se pasaron a través de una malla N° 60 (ASTM-E-11-61) para seleccionar partículas con un tamaño $\leq 250 \mu\text{m}$.

Índice de solubilidad en agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA) y capacidad de retención de aceite

Se determinaron los índices ISA y IAA en la HME y HMEA según el procedimiento de Anderson y otros (1969), con ligeras modificaciones: se mezcló una muestra de 2,5 g con 10 mL de agua destilada en un tubo de centrifuga de 50 mL a 25 °C. La suspensión se agitó durante 30 min y se centrifugó a 5000 rpm durante 30 min. El sobrenadante se colocó en una placa de aluminio tarado y se evaporó en un horno de convección a 105 °C durante 12 h. Se registró el peso del gel, así como el precipitado, y el IAA se expresó como g de gel/g de muestra seca.

El ISA se determinó utilizando la metodología informada por Anderson y otros (1969), utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{ISA} = \text{PSS}/\text{PM} \quad (1)$$

Donde: PSS es el peso del material soluble en el sobrenadante y PM es el peso inicial de la muestra.

La capacidad de retención de aceite (CRA) de las muestras se determinó según el método descrito por Ahmed y otros (2016). Brevemente, se transfirieron 10 mL de aceite de girasol a 100 mg de muestra en un tubo de centrifuga de 50 mL, y se agitó. La mezcla resultante se centrifugó a 1500 g durante 30 min. La CRA se expresó como g de aceite absorbido/g de muestra a 30 °C.

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de las muestras extrudidas fueron analizadas utilizando calorimetría diferencial de barrido. Los termogramas fueron obtenidos con un DSC (DSC Q800 TA Instruments, Delaware, USA). El equipo fue calibrado con indio, usando una cápsula vacía como referencia. Las muestras fueron preparadas directamente en las cápsulas; se pesaron 2-3 mg de muestra y se adicionó agua destilada para que la concentración final de sólidos fuera del 20%. Luego fueron calentadas desde 40 °C a 120 °C a una velocidad de 10 °C/min en presencia de nitrógeno. Fueron determinadas la temperatura de pico (T_p), y la entalpía ($\Delta H/g$) a partir del área correspondiente a cada pico y grado de gelatinización (DG).

$$\text{DG} (\%) = \frac{(\Delta H \text{ harina nativa} - \Delta H \text{ harina extrudida})}{\Delta H \text{ harina nativa}} \times 100 = (I) \quad (2)$$

Firmeza de geles

Para determinar la firmeza de los geles de HME y HMEA se preparó una dispersión de harina/ agua (3,5 \pm 0,01 g en 25 \pm 0,01 g de agua destilada). La dispersión se calentó a ebullición en una

placa calefactora con agitación magnética constante con el fin de alcanzar una hidratación homogénea. Las muestras se calentaron durante 8 min a la misma intensidad de la placa calefactora (temperatura aproximada de 93 °C) (Kumar, 2019). Las soluciones de harina se vertieron en recipientes cilíndricos (35 mm de diámetro interno, 65 mm de altura), se dejaron reposar durante 25 min a temperatura ambiente y se almacenaron a 4 °C durante 24 h para conseguir la estabilización del gel. Cada gel se hizo por triplicado.

El análisis de textura se realizó según Martínez y otros (2015). La determinación de la textura de los geles se realizó a temperatura ambiente en un analizador de textura TA-XT2 Stable micro texture analyser (Stable Microsystems Ltd, Godalming, UK), equipado con software Texture Exponente Lite para Windows. Se realizó un ciclo de compresión usando una probeta cilíndrica de 5 mm de diámetro (P5), se aplicó a una velocidad constante de la cruceta de 0,5 mms⁻¹ con una profundidad de 10 mm de la muestra, seguidos de un retorno a la posición original. Se obtuvo la curva de fuerza-tiempo que se utilizó para calcular el valor del parámetro de textura: dureza (la fuerza máxima observada durante el ciclo de compresión). Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño factorial completamente aleatorizado con 2 factores, el primero de 2 niveles y el segundo de 4 niveles (Tabla 1). Los datos obtenidos se trataron estadísticamente mediante análisis de varianza, mientras que las medias fueron comparadas por el LSD Prueba de Fisher a un nivel de significancia de 0,05, usando en ambos casos el software estadístico INFOSTAT-Versión 2017 (Di Rienzo, et al., 2017). Todos los experimentos se realizaron por triplicado y se informaron los valores medios \pm la desviación o error estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química

La Tabla 1 muestra la composición química de las harinas HME y HMEA a los distintos niveles de acondicionamiento de humedad. La humedad de las harinas HME y HMEA varió entre el 9,68 y 10,37%. Los valores de humedad encontrados fueron similares a los obtenidos por Contreras-Jiménez y otros (2016). No se observaron diferencias significativas en el contenido proteico y el contenido de lípidos libres disminuyó significativamente ($p < 0,05$) en la HMEA en comparación con la HME. Los valores de la HMEA a 30 y 35% de humedad de acondicionamiento fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) a los encontrados para la HME obtenida en las mismas condiciones. Esto puede deberse a que parte de los lípidos durante la extrusión forman complejos amilosa-lípido, y en presencia del agente alcalino, el Ca interacciona con el almidón disminuyendo la posibilidad de interacción amilosa-lípido (Ibarra-Mendivil, et al., 2008). La HME presentó valores de pH entre 6,26 a 6,44, mientras que el agregado de hidróxido de calcio incrementó significativamente ($p < 0,05$) el pH de las muestras de la HMEA.

TABLA 1. Composición química de las harinas tratadas.

Muestras	Humedad de acondicionamiento (%)	Humedad de harina (g/100g)	Proteína (g/100g)	Lípido libres (g/100g)	pH
HME	30	10,13 ± 0,13 ^{ab}	11,09 ± 0,03 ^a	1,33 ± 0,04 ^d	6,44 ± 0,01 ^c
	35	10,29 ± 0,54 ^b	11,08 ± 0,02 ^a	1,35 ± 0,00 ^d	6,26 ± 0,04 ^a
	40	10,14 ± 0,28 ^{ab}	11,09 ± 0,01 ^a	1,55 ± 0,07 ^c	6,27 ± 0,02 ^a
	45	10,37 ± 0,07 ^b	11,07 ± 0,01 ^a	1,28 ± 0,04 ^b	6,33 ± 0,01 ^b
HMEA	30	10,20 ± 0,16 ^{ab}	11,11 ± 0,01 ^a	1,68 ± 0,04 ^d	7,18 ± 0,06 ^g
	35	9,87 ± 0,09 ^{ab}	11,07 ± 0,01 ^a	1,65 ± 0,00 ^d	6,80 ± 0,03 ^e
	40	10,08 ± 0,11 ^{ab}	11,10 ± 0,02 ^a	1,50 ± 0,06 ^c	6,58 ± 0,02 ^d
	45	9,68 ± 0,25 ^a	10,98 ± 0,01 ^a	1,10 ± 0,04 ^a	6,90 ± 0,02 ^f
Harina Nativa		9,35 ± 0,07 ^{ab}	11,08 ± 0,19 ^a	4,08 ± 0,11 ^e	6,4 ± 0,02 ^c

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).
 Los valores se expresan en mg/100g base seca.

Propiedades funcionales

Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad de agua (ISA) y capacidad de retención de aceite (CRA)

El IAA está relacionado con el grado de cocimiento de las harinas. Los valores de IAA de la HMEA presentaron diferencias significativas ($p < 0,005$) comparadas con la HME (Figura 1A). El rango encontrado para la HMEA fue de 2,21 a 2,58 kg gel/kg harina, mientras que la HME presentó valores entre 3,11 y 3,46 kg gel/ kg harina. Estos valores estuvieron dentro del rango informado por Contreras-Jiménez y otros (2016) para harinas procesadas en condiciones similares. Los valores mayores encontrados en la HME pueden ser debido a su mayor grado de gelatinización (Castillo, et al., 2009).

El índice de solubilidad en agua indica la cantidad de sólidos disueltos por el agua cuando una muestra de harina se somete a un exceso de este líquido; indica también el grado de dextrinización del almidón durante la extrusión (González, et al., 2006). El índice de solubilidad se vio afectado significativamente ($p < 0,05$) por los niveles de humedad y el tratamiento alcalino. El rango de ISA (Figura 1B) encontrado para la HMEA (15,58 a 21,59%) fue significativamente mayor al de las muestras de HME (5,81 a 9,78%). Los mayores valores se encontraron para muestras con un nivel de acondicionamiento de 45% de humedad. Los valores de ISA para la HMEA fueron mayores a los valores reportados por Contreras-Jiménez y otros (2016) para maíz duro, posiblemente debido al tipo de maíz. Los granos de maíz blandos tienen un empaque suelto de los gránulos de almidón, en comparación con los granos duros que tienen una matriz proteica muy densa alrededor de los gránulos de almidón (Salvador-Reyes, et al., 2021). Por otro lado,

en este trabajo se ha empleado harina integral de maíz, por lo tanto, el tratamiento térmico alcalino produjo una hidrólisis y solubilización de los componentes estructurales del pericarpio (Bello-Pérez, et al., 2002), aumentando los valores de ISA. La CRA (Figura 1C) para la HMEA fue significativamente menor ($p < 0.05$) que la de la HME; este comportamiento es esperable ya que la HMEA presentó mayor ISA, indicando mayores componentes que se solubilizan en agua y disminuyendo componentes que retienen aceite (Valencia y Román, 2006).

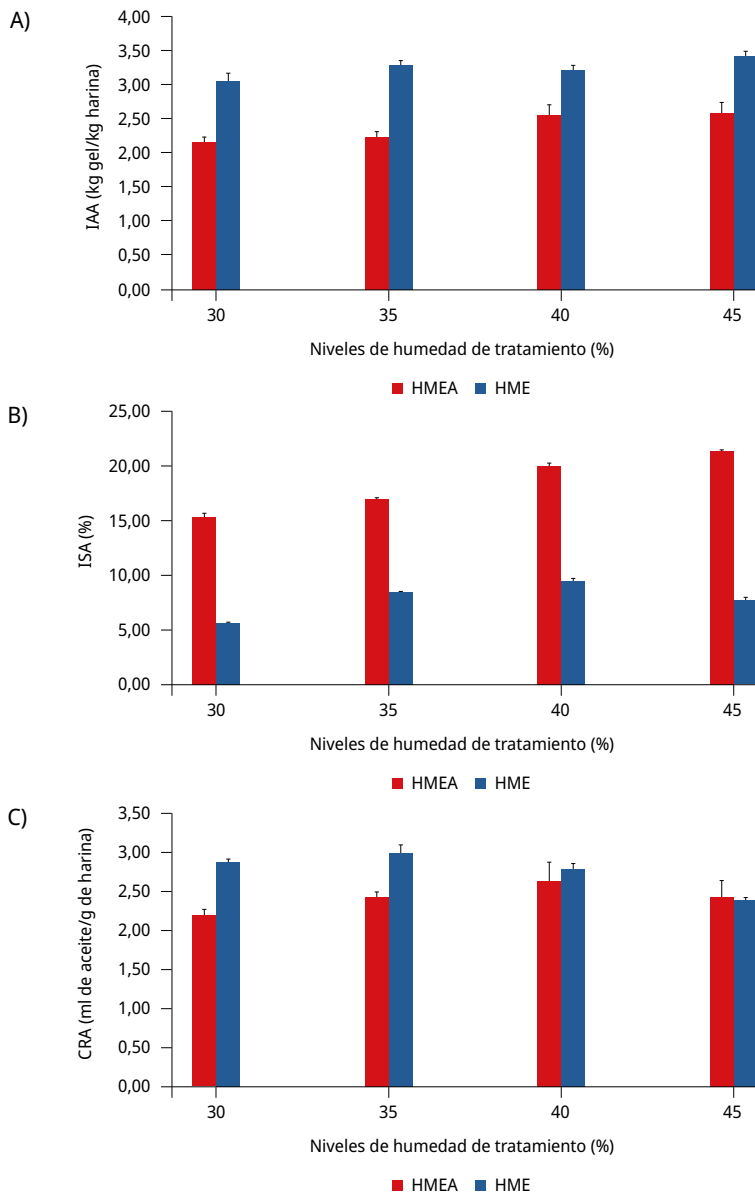


FIGURA 1. A) Índice de solubilidad en agua (ISA). B) Índice de absorción de agua (IAA). C) Capacidad de retención de aceite (CRA).

Propiedades térmicas por DSC

En la Tabla 2 se presentan la temperatura de pico (Tp) y la entalpía de gelatinización (ΔH). La Tp varió de 68,27 a 72,28 °C y de 71,11 a 73,08 para la HME y HMEA respectivamente. Los parámetros térmicos encontrados en la HMEA fueron similares a los informados por Gutiérrez-Dorado y otros (2008); la mayor temperatura pico de gelatinización se observó en las muestras de HMEA y a mayor humedad (73,08 °C). De acuerdo con Pineda-Gómez y otros (2011), la interacción de los iones de calcio y el almidón desplaza el pico de gelatinización a temperaturas más altas. Este aumento de la Tp podría producirse debido a un cambio en la estructura molecular de la harina, puesto que la presencia de Ca promueve la formación de puentes entre los grupos OH de los monómeros de glucosa con el calcio, lo que lleva a una estructura más compleja que necesita mayor temperatura para romperse (Pineda-Gómez, et al., 2010). Para el menor contenido de humedad de extrusión se observaron grados de gelatinización de 31,80 y 61,40% para la HMEA y HME respectivamente. Estos resultados demuestran que los valores de ISA obtenidos para la HMEA no estarían solo asociados al grado de gelatinización, sino también a la solubilidad de otros componentes con el tratamiento alcalino. El grado de gelatinización disminuyó a partir del 40% de humedad, lo que indicaría que a partir de este contenido de agua la misma actúa como plastificante, reduciendo el efecto del cizallamiento mecánico y el calentamiento durante la extrusión (Liu, et al., 2017).

TABLA 2. Propiedades térmicas de las harinas tratadas.

	Humedad de tratamiento (%)	Tp (°C)	ΔH (J/gr)	DG (%)
HME	30	68,8 ± 2,7 ^a	2,1 ± 0,1 ^{cd}	61,4 ± 1,2 ^{cd}
	35	72,3 ± 0,9 ^{ab}	1,5 ± 0,0 ^a	71,3 ± 0,9 ^f
	40	72,3 ± 0,5 ^{ab}	1,7 ± 0,2 ^{ab}	68,4 ± 0,5 ^{ef}
	45	68,3 ± 0,0 ^a	1,9 ± 0,1 ^{bc}	64,7 ± 0,0 ^{de}
HMEA	30	71,1 ± 1,5 ^{ab}	3,7 ± 0,5 ^{cd}	31,8 ± 2,2 ^a
	35	72,6 ± 1,8 ^{ab}	2,3 ± 0,0 ^d	57,9 ± 0,8 ^{bc}
	40	72,9 ± 1,3 ^{ab}	1,8 ± 0,2 ^e	67,5 ± 0,5 ^{ef}
	45	73,1 ± 0,6 ^b	2,6 ± 0,1 ^f	52,4 ± 1,8 ^b
Harina integral de maíz andino		68,42	5,44	

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Tp (temperatura de pico); ΔH (entalpía de gelatinización); DG (grado de gelatinización).

Firmeza de geles

La firmeza de geles varió de 0,26 a 0,33 N y 0,50 a 0,77 N para la HMEA y HME respectivamente, encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos

($p < 0,05$) (Figura 2). La menor firmeza de los geles de la HMEA puede deberse a que los iones de calcio interrumpen la cristalización de las moléculas de almidón durante el enfriamiento del gel, lo que conduce a redes de gel debilitadas (Cornejo y Rosell, 2015).

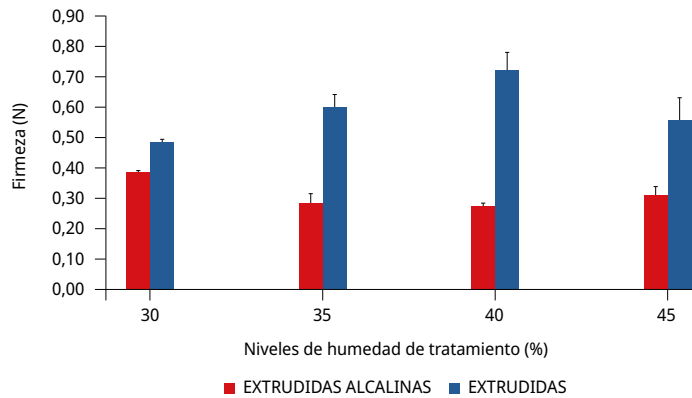


FIGURA 2. Firmeza de geles de las harinas extrudidas.

CONCLUSIÓN

El agregado de calcio a la extrusión convencional de harina de maíz cuzco modifica sus propiedades tecnofuncionales, obteniéndose harinas caracterizadas por presentar un grado de cocción intermedio o menor a los obtenidos con una extrusión convencional. Por sus propiedades, tienen potenciales usos en sistemas de masas y/o en la elaboración de postres y salsas, sistemas que requieren menor firmeza en sus geles con mejor estabilidad a la retrogradación debido a la presencia de compuestos como complejos amilosa-lípido. El conocimiento acerca del comportamiento tecnofuncional de las harinas integrales nativas obtenidas por tratamiento térmico alcalino permite sugerir posibles usos en la elaboración de alimentos farináceos libre de gluten.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo con financiamientos otorgados por la Secretaría de Ciencia y Técnica y Estudios Regionales (SeCTER) de la Universidad Nacional de Jujuy, y el Consejo Nacional de Investigación de Ciencia y Tecnología (CONICET).

REFERENCIAS

- Ahmed, J., Hasan, Al., Yasir A. y Arfat, A., 2016. Effect of particle size on compositional, functional, pasting and rheological properties of commercial water chestnut flour. En: *Food Hydrocolloids*, 52, pp.888-895.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.028>

- Anderson Conway, H.F., Pfeifer, V. F. y Griffin, Jr., 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion-cooking. En: *Cereal Science Today*, 14, pp.4-12.
- AOAC International, 2005a. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18a ed. Gaithersburg: AOAC. Official Method 925.10.
- AOAC International, 2005b. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18a ed. Gaithersburg: AOAC. Official Method 920.87.
- AOAC International, 2005c. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18a ed. Gaithersburg: AOAC. Official Method 920.39.
- Bello-Pérez, L. A., Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Núñez S. y Paredes López, O. 2002. Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado [En línea]. En: *Agrociencia*, 36(3), pp.319-328. [Consulta 11 de Noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236305>
- Castillo, V.K.C., Ochoa, M.L.A., Figueroa, C.J.D., Delgado, L.E., Gallegos, I.J.A. y Morales, C.J., 2009. Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal. En: *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(4), pp.425-432. ISSN 0004-0622.
- Chillo, S., Civica, V., Lannetti, M., Suriano, N., Mastromatteo, M. y Del Nobile, M.A., 2009. Properties of quinoa and oat spaghetti loaded with carboxymethylcellulose sodium salt and pregelatinized starch as structuring agents. En: *Carbohydrate Polymers*, 78, pp.932-937. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.07.013>
- Chillo, S., Civica, V., Lannetti, M., Mastromatteo, M., Suriano, N. y Del Nobile, M.A., 2010. Influence of repeated extrusions on some properties of nonconventional spaghetti. En: *Journal of Food Engineering*, 100, pp.329-335. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.018>
- Contreras-Jiménez, B., Gaytán-Martínez, M., Morales-Sánchez, E., Figueroa, J., Pless, E., González-Jasso, E., Méndez-Montealvo, G. y Velazquez, G., 2016. Effect of tempering time, Ca(OH)² concentration and particle size on the rheological properties of extruded corn flour. En: *Cereal Chemistry Journal*, 94, pp.230-236. DOI: <https://doi.org/10.1094/CCHEM-03-16-0058-R>
- Cornejo, F. y Rosell, C.M., 2015. Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality. En: *LTW- Food Science and Technology*, 62, pp.1203-12102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.050>
- Di Rienzo, J.A., Balzarini, Mónica, González, Laura, Casanoves, Fernando, Tablada, Margot y Robledo, Carlos, 2017. *InfoStat versión 2017* [En Línea]. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. [Consulta:12 de octubre de 2021]. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- González, R.J., Torres, R.L. y De Greef, D.M., 2006. El arroz como alimento: el grano y la harina, parámetros de caracterización y de calidad. En: Benavides, R., ed. *El arroz: su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos*. Capítulo 1. Entre Ríos: Univ. Nac. de Entre Ríos y Univ. Nac. del Litoral. pp.19-52. ISBN 950-698-167-1.
- Gutiérrez-Dorado, R., Ayala-Rodríguez, A. E., Milan-Carrillo, J., López-Cervante, J., Garzón-Tiznado, J. A., López-Valenzuela, J. A., Paredes-López, O. y Reyes-Moreno, C., 2008. Technological and nutritional properties of flours and tortillas from nixtamalized and

- extruded quality protein maize (*Zea mays* L.). En: *Cereal Chemistry*, 85(6), pp.808-816.
DOI: <https://doi.org/10.1094/CCHEM-85-6-0808>
- Guo, N., Wei, X. y Zhu, K., 2017. The impact of protein cross-linking induced by alkali on the quality of buckwheat noodles. En: *Food Chemistry*, 221(15), pp.1178-1185.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.041>
- Ibarra-Mendivil, M.H., Gallardo-Navarro, Y.T., Torres, P.I. y Ramírez Wong, B., 2008. Effect of processing conditions on instrumental evaluation of nixtamal hardness of corn. En: *Journal of Texture Studies*, 39(3), pp.252-266.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2008.00141.x>
- Kumar, P.S., Saravanan, A., Sheeba, N. y Uma, S., 2019. Structural, functional characterization and physicochemical properties of green banana flour from dessert and plantain bananas (*Musa* spp.). En: *LWT*, 116, 108524.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108524>
- Liu, C., Zhang, Y., Liu, W., Wan, J., Wang, W. y Wu, L., 2017. Physicochemical and structural properties of pregelatinized starch prepared by improved extrusion cooking technology. En: *Journal of Cereal Science*, 175(1), pp.265-272.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.084>
- Lorenzo, G., Zaritzky, N. y Califano, A., 2008. Optimization of non-fermented gluten-free dough composition based on rheological behavior for industrial production of "empanadas" and pie-crusts. En: *Journal of Cereal Science*, 48, pp.224-231.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.09.003>
- Mariotti, M., Iametti, S., Cappa, C., Rasmussen, P. y Lucisano, M., 2011. Characterisation of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: evaluation of the uncooked products. En: *Journal of Cereal Science*, 53(3), pp.319-327.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.02.001>
- Martínez, M.M., Macías, A.K., Belorio, M.L. y Gómez, M., 2015. Influence of marine hydrocolloids on extruded and native wheat flour pastes and gels. En: *Food Hydrocolloids*, 43, pp.172-179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.012>
- Pineda-Gómez, P., Coral, D.F., Arciniegas, M.L., Rosales-Rivera, A. y Rodríguez-García, M.E., 2010. Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. En: *Revista Ingeniería y Ciencia*, 6(11), pp.129-141. ISSN 1794-9165.
- Pineda-Gómez, P., Coral, D.F., Arciniegas, M.L., Rosales-Rivera, A. y Rodríguez-García, M.E., 2011. Estudio de las propiedades térmicas de harinas de maíz producidas por tratamiento térmico-alcálico. En: *Revista Ingeniería y Ciencia*, 7(14), pp.119-142. ISSN 1794-9165.
- Salvador-Reyes, R., Rebellato, A. P., Pallone, J. A. L., Ferrari, R. A. y Clerici, M. T. P. S., 2021. Kernel characterization and starch morphology in five varieties of Peruvian Andean maize. En: *Food Research International*, (140), 110044
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110044>
- Valencia, F.E. y Román, M.O., 2006. Caracterización fisicoquímica y funcional de tres concentrados comerciales de fibra dietaria. En: *Vitae*, 13(2), pp.54-60. ISSN 0121-4004.
- Vázquez Carrillo, M.G., Guzmán Báez, L., Andrés García, J.L., Márquez Sánchez, F. y Castillo Merino, J., 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. En: *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(4), pp.231-238. ISSN: 0187-7380.