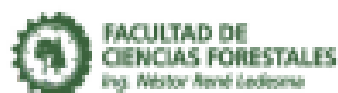




INVESTIGACIONES EN FACULTADES DE INGENIERÍA DEL NOA



INVESTIGACIONES EN FACULTADES
DE INGENIERÍA DEL NOA
ISSN: 1853-6662

PROPIEDAD:

Esta publicación es propiedad del Consejo de
Decanos de Ingeniería del NOA (CODINOA)

PUBLICACIÓN Y COMPAGINACIÓN:

Secretaría de Investigación y Posgrado -
Editorial Científica Universitaria - Universidad
Nacional de Catamarca - Av. Belgrano N° 300
Edif. Pab. Variante I - 2do. Piso - Predio
Universitario. C. P. 4700 - San Fernando del
Valle de Catamarca - Catamarca - República
Argentina.

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN:

María Noelia Ariza (Editorial Científica Universitaria)

Autoridades

Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas - Universidad Nacional de Catamarca
Ingeniero Agrimensor Carlos Humberto Savio

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Jujuy
Ingeniero Metalúrgico Gustavo Alberto Lores

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Salta
Ingeniero en Construcciones Héctor Raúl Casado

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías - Universidad Nacional de Santiago del Estero
Ingeniero Vial Pedro Juvenal Basualdo

Facultad de Agronomía y Agroindustrias - Universidad Nacional de Santiago del Estero
Doctora Ingeniera en Industrias Agrícolas y Alimentarias Myriam Elizabeth Villarreal

Facultad de Ciencias Forestales - Universidad Nacional de Santiago del Estero
Doctor Ingeniero en Industrias Forestales Juan Carlos Medina

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - Universidad Nacional de Tucumán
Doctor Ingeniero Electricista Miguel Angel Cabrera

Editor General

Cañas, Martha Susana

Comité Editorial

Acosta, Delicia (UNSa)
Benac, María José (UNSE)
Cañas, Martha Susana (UNCA)
López, Gloria del Valle (UNCA)
Manzano, Eduardo (UNT)
Rizo Patrón, Marcia (UNSE)
Rodríguez, Ivan (UNSa)
Santapaola, Julia Eleonora (UNJu)
Sarmiento, Miguel (UNSE)
Vicente, María Soledad (UNSa)

Caracterización tecno-funcional de harinas integrales extruidas de maíz culli y quínoa

Miranda, Rita¹; Ricos, Francisco¹; Amaya, Argentina¹; Lobo, Manuel¹ y Sammán, Norma,²

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy,
rnamaris@miranda@yahoo.com.ar

RESUMEN

Los granos andinos se utilizan ampliamente para la elaboración de alimentos sin gluten. Sin embargo, la calidad tecnológica de sus harinas debe modificarse para aplicaciones panaderías. El objetivo fue evaluar el efecto de distintas condiciones de extrusión sobre propiedades tecno-funcionales de harinas integrales de maíz andino (*Zea mays*) y quínoa (*Chenopodium quinoa*), y la expansión de sus masas. Se determinó la composición proximal y amilosa aparente de harinas integrales nativas. Estas se extrudieron en un extrusor monotornillo con relación de compresión 3:1, a temperaturas de 100, 120 y 140°C y humedades de 20, 25 y 30%, con velocidad de tornillo de 100 rpm. La composición química de las harinas nativas presentó diferencias significativas. Las propiedades tecno-funcionales de las harinas fueron modificadas por la extrusión. El grado de expansión y el índice de absorción de agua tendieron a aumentar con la disminución de la humedad de extrusión. La luminosidad de todas las harinas extrudidas fue menor que la de sus homólogas nativas. El volumen de expansión de masas tuvo una alta correlación con el porcentaje de lípidos libres de las harinas extrudidas de quínoa. La extrusión de las harinas mejoró la expansión de masas sin gluten.

ABSTRACT

Andean grains are widely used to make gluten-free foods. However, the technological quality of its flours must be modified for bakery applications. The objective was to evaluate the effect of different extrusion conditions on techno-functional properties of whole Andean corn (*Zea mays*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) flours, and the expansion of their doughs. The proximal composition and apparent amylose of the native whole grain flours were determined. These were extruded in a single screw extruder with a compression ratio of 3:1, at temperatures of 100, 120 and 140 °C and humidity of 20, 25 and 30%, with a screw speed of 100 rpm. Natives flours showed significant differences in their chemical composition. The techno-functional properties of the flours were modified by extrusion. The degree of expansion and the water absorption index (IAA) tended to increase with decreasing extrusion moisture. The luminosity of all extruded flours was lower than that of their native homologous. The doughs expansion volume had a high correlation with the percentage of free lipids of the extruded quinoa flours. The extrusion of the flours improved the expansion of the gluten-free doughs.

Palabras claves: Cultivos Andinos - Harinas Integrales - Sin Gluten - Extrusión.

Keywords: Andean Crops - Whole Flours - Gluten Free - Extrusion.

Caracterización tecno-funcional de harinas integrales extruidas de maíz culli y quinoa

Miranda, Rita¹; Ríos, Francisco¹; Amaya, Argentina¹; Lobo, Manuel¹ y Sammán, Norma.¹

(1) *Facultad de Ingeniera, Universidad Nacional de Jujuy.*
ritamarisolmiranda@yahoo.com.ar

RESUMEN

Los granos andinos se utilizan ampliamente para la elaboración de alimentos sin gluten. Sin embargo, la calidad tecnológica de sus harinas debe modificarse para aplicaciones panaderas. El objetivo fue evaluar el efecto de distintas condiciones de extrusión sobre propiedades tecno-funcionales de harinas integrales de maíz andino (*Zea mays*) y quinoa (*Chenopodium quinoa*), y la expansión de sus masas. Se determinó la composición proximal y amilosa aparente de harinas integrales nativas. Éstas se extrudieron en un extrusor monotornillo con relación de compresión 3:1, a temperaturas de 100, 120 y 140°C y humedades de 20, 25 y 30%, con velocidad de tornillo de 100 rpm. La composición química de las harinas nativas presentó diferencias significativas. Las propiedades tecno-funcionales de las harinas fueron modificadas por la extrusión. El grado de expansión y el índice de absorción de agua tendieron a aumentar con la disminución de la humedad de extrusión. La luminosidad de todas las harinas extrudidas fue menor que la de sus homólogas nativas. El volumen de expansión de masas tuvo una alta correlación con el porcentaje de lípidos libres de las harinas extrudidas de quinoa. La extrusión de las harinas mejoró la expansión de masas sin gluten.

ABSTRACT

Andean grains are widely used to make gluten-free foods. However, the technological quality of its flours must be modified for bakery applications. The objective was to evaluate the effect of different extrusion conditions on techno-functional properties of whole Andean corn (*Zea mays*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) flours, and the expansion of their doughs. The proximal composition and apparent amylose of the native whole grain flours were determined. These were extruded in a single screw extruder with a compression ratio of 3: 1, at temperatures of 100, 120 and 140 °C and humidity of 20, 25 and 30%, with a screw speed of 100 rpm. Natives flours showed significant differences in their chemical composition. The techno-functional properties of the flours were modified by extrusion. The degree of expansion and the water absorption index (IAA) tended to increase with decreasing extrusion moisture. The luminosity of all extruded flours was lower than that of their native homologous. The doughs expansion volume had a high correlation with the percentage of free lipids of the extruded quinoa flours. The extrusion of the flours improved the expansion of the gluten-free doughs.

Palabras claves: Cultivos Andinos - Harinas Integrales - Sin Gluten - Extrusión.

Keywords: Andean Crops - Whole Flours - Gluten Free - Extrusion.

1. INTRODUCCIÓN

El maíz andino (*Zea mays*) es un cereal que se puede incluir de forma segura en la producción de alimentos sin gluten, sus harinas integrales son buena fuente de energía y fibra, pero pobres en minerales; sus proteínas tienen bajo valor biológico por deficiencia principalmente de lisina (Giménez, 2015; León, 2007). Las formulaciones a base de maíz suelen complementarse con harinas de quínoa (*Chenopodium quinoa*) o amaranto (*Amaranthus caudatus*), cuyas proteínas son, ricas en lisina (Shotts, 2018; Díaz, 2013). De acuerdo al tipo de molienda pueden incluirse diferentes partes del grano, lo cual puede influir en sus propiedades tecnológicas (Pecoroni, 2017). El uso de harinas integrales plantea un gran desafío debido al efecto negativo que tendrían sobre la calidad tecnológica del producto final.

La extrusión-cocción se utiliza ampliamente en la industria de alimentos (Escalante Arbutto, 2013). Los cambios fisicoquímicos producidos sobre los materiales almidonosos por efecto de las fuerzas de cizallamiento pueden cambiar su tecnofuncionalidad (Hamada 2017, Díaz 2015). Gómez, (2016) obtuvieron buenos resultados aplicando la extrusión para modificar las propiedades tecnológicas de harinas libres de gluten y obtener panificados de calidad aceptable. La selección adecuada de los parámetros de extrusión podría permitir obtener un ingrediente capaz de retener el gas durante la fermentación y el proceso de cocción.

El almidón es el componente más importante durante la extrusión de las harinas. Los cambios en las propiedades hidratación del material almidonoso y la reducción de los lípidos libres por interacción con la amilosa, son los primeros indicadores de la intensidad del tratamiento (Ma, 2017). La caramelización o la reacción de Maillard inducida por el tratamiento térmico pueden afectar el color de las harinas (Leonard, 2020; Martínez, 2015; Jozinović, 2016).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes condiciones de extrusión sobre las propiedades tecno-funcionales de harinas integrales de dos cultivos andinos para su potencial aplicación en panadería sin gluten.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Se trabajó con maíz andino culli y quínoa real. Para la elaboración de masas se utilizó: harinas de los granos andinos (extrudidas/nativas), aceite de girasol, levadura prensada, azúcar, sal y agua potable.

2.2 Caracterización fisicoquímica de las harinas nativas

2.2.1 Composición Proximal

La composición proximal de las harinas integrales de maíces se determinó por métodos AOAC (2014), utilizando los siguientes métodos:

Humedad (H): AOAC 925.09 (32.1.02). Proteína (P): Kjeldahl AOAC 984.13 (4.2.09). Lípidos (Lp): AOAC 920.39 (4.5.01). Cenizas (C): AOAC 923.03 (32.1.05). Carbohidratos (Ch) totales, por diferencia:

$$\text{Ch}\% = 100 - (\%H + \%P + \%Lp + \%C) \quad (1)$$

2.2.2 Contenido de Amilosa

Se aislaron almidones empleando el método de Gómez (1992) con modificaciones, se usó éter etílico, alcohol 96° y mallas 40, 100 y 200mesh (Agama, 2005).

El contenido de amilosa aparente de los almidones se determinó por el método colorimétrico de Juliano (1981) en presencia de yodo, empleando mezclas patrones de Amilosa y Amilopectina de papa (Cornejo, 2015). La absorbancia de las lecturas fue 620nm (Espectrofotómetro UV/Vis: UV-6300 PC Double Bram Mapada- Mapada Instrument). Las mediciones se realizaron por triplicado.

2.3 Acondicionamiento y molienda del material

Los granos andinos se secaron en secador solar durante 72h. Luego se molieron en molino de martillos. Se utilizó una malla de 710µm de abertura para separar las fracciones gruesas retenidas y remolerlas con el fin de obtener granulometrías adecuadas para la extrusión y panificación (Martínez, 2015). Las fracciones obtenidas se mezclaron y homogeneizaron para obtener las harinas integrales.

2.4 Extrusión de las harinas integrales

Las harinas integrales nativas se hidrataron a niveles de humedad del 20, 25 y 30%, con un período de estabilización de 15 min en bolsas de polietileno para que la humedad se distribuya en forma homogénea. Luego se extrudieron a temperaturas de 100, 120 y 140°C (Giménez, 2013), en un extrusor de tornillo simple con relación 3:1 y a velocidad de 100rpm.

Los productos extrudidos se secaron en secador solar hasta humedad constante (10%). Luego los expandidos secos se molieron en molino de martillo, se tamizaron y remolieron las fracciones gruesas (>710µm), siguiendo el mismo procedimiento aplicado a los granos de maíces andinos, para harinas precocidas aptas para panificación.

2.5 Caracterización tecno-funcional de las harinas extrudidas

2.5.1 Grado de expansión (G_{exp})

Se determinó de acuerdo a Jozinović (2016) aplicando la siguiente ecuación:

$$G_{exp} = \frac{d}{d_0} \quad (2)$$

Donde d: diámetro del producto expandido y d_0 : diámetro de la boquilla del extrusor. La medición de los diámetros de los expandidos se llevó a cabo por decuplicado.

2.5.2 Propiedades de Hidratación

Se determinaron los Índices de Absorción de Agua (IAA) e Índices de Solubilidad en Agua (ISA) de las harinas nativas y extrudidas por el método de Anderson (1969) con leves modificaciones. Se pesaron 2,5 g de cada muestra en tubos de centrifuga. Luego se adicionaron 30 mL de agua destilada y se colocaron en baño termostático a 30°C por 15 min con agitación, se enfriaron a temperatura ambiente y se centrifugaron a 3000 rpm por 10 min. Se registraron los pesos de los residuos o geles obtenidos en los tubos de centrifuga. Los sobrenadantes obtenidos se colocaron en cajas de Petri y se evaporaron a 110°C para determinar los sólidos solubles (Hamada, 2017). Los IAA e ISA se calcularon según las ecuaciones.:

$$IAA \text{ (g/g)} = \frac{W_r}{W_i} \quad (3)$$

$$ISA \text{ (\%)} = \frac{W_s}{W_i} * 100 \quad (4)$$

Dónde: W_i : g de las harinas; W_r : g de gel y W_s : g de sobrenadantes secos.

2.5.3 Lípidos Libres

Se determinaron lípidos libres en harinas extrudidas mediante extracción con solvente por soxhlet (Byars, 2015). Para el cálculo se utilizó la fórmula:

$$\%LL = \frac{(P_i - P_f)_{ext}}{(P_i - P_f)_{nat}} \quad (5)$$

Donde %LL es el porcentaje de lípidos libres, $(P_i - P_f)_{ext}$ es la diferencia de peso de la muestra antes y después de la extracción con solvente, equivalente al peso de lípidos libres en la muestra de harina extrudida; $(P_i - P_f)_{nat}$ es la diferencia de peso de la muestra antes y después de la extracción con solvente en la harina nativa.

2.5.4 Determinación del color

Se midieron parámetros de color en harinas nativas y extrudidas (Colorímetro Color Quest XE, Hunterlab) por triplicado (Martínez, 2015). Se empleó el sistema CIE $L^*a^*b^*$, que comprende las coordenadas L^* que determina la luminosidad, a^* determina en la zona de valores positivos los rojos y en la zona de valores negativos los verdes, b^* determina en la zona de valores positivos los amarillos y en la zona de valores negativos los azules (Escalante Aburto, 2013).

2.6 Capacidad de expansión de las masas durante la fermentación

Se determinó por el método de Sangnark (2004) con ligeras modificaciones. Se elaboraron masas de 50g por método directo con todas las harinas extrudidas, sustituyendo 10% de las harinas nativas. Las muestras se introdujeron en probetas de 500mL y se colocaron en la cámara durante 3 h, en la que las condiciones ambientales se mantuvieron a 30°C y 80-90% de humedad relativa. Se registró el volumen de las masas cada 10 minutos la primera hora y cada 30 minutos las

dos horas siguientes (Wu, 2009). La prueba se llevó a cabo por triplicado.

2.7 Análisis de datos

Los datos obtenidos se analizaron con el programa estadístico (INFOSTAT). Se llevó a cabo un análisis de varianza con prueba de Tukey a un nivel de significancia de 0,05 para comparar los tratamientos y un Análisis de Componentes Principales (ACP).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Tabla 1 se muestran las referencias de los tratamientos empleados. En Tabla 2 se muestra la composición proximal. El contenido de proteínas y cenizas de HQ fue significativamente superior a HK. HK presentó mayor contenido de carbohidratos. Los valores de composición de estas harinas integrales fueron similares a los reportados en otros trabajos (Agama Acevedo, 2011; Turkut, 2016; Shotts, 2018).

Tabla 1. Referencias de los tratamientos.

Tratamiento	Maíz Culli	Quínoa
Harina nativa	HK	HQ
20%H-100°C	K1	Q1
25%H-100°C	K2	Q2
30%H-100°C	K3	Q3
20%H-120°C	K4	Q4
25%H-120°C	K5	Q5
30%H-120°C	K6	Q6
20%H-140°C	K7	Q7
25%H-140°C	K8	Q8
30%H-140°C	C9	Q9

Ambos cultivos presentaron contenidos de amilosa intermedio y corresponde a almidones de tipo normal (Kong, 2015). El contenido de amilosa depende principalmente de la fuente botánica, la raza y otros parámetros relacionados con la madurez fisiológica del grano. La HQ presentó el valor más bajo. Esta diferencia podría influir en la funcionalidad tecnológica de las harinas integrales (Sánchez 2008).

Tabla 2. Composición Proximal (g/100g bs) y Contenido de Amilosa (%).

Id.	HK	HQ
Proteínas	7,70 ±0,24a	14,80±0,18b
Lípidos	5,57±0,62a	7,47±0,83a
Cenizas	1,72±0,02a	2,34±0,043b
Carbohidratos	75,91±0,43b	57,20±1,01a
Amilosa	22,81±0,74b	12,79±1,019a

Los Gexp de los extrudidos variaron entre 1,04±0,02-2,20±0,07 (Fig. 1). A 20%H-120°C se produjo el mayor grado de expansión y a 30%H-100°C el menor, correspondientes a los tratamientos de maíz culli y quínoa respectivamente. Las muestras extrudidas de quínoa presentaron incrementos significativos del Gexp con la disminución de la humedad a las diferentes temperaturas y solo a 30%H se observó una tendencia al aumento del Gexp con la temperatura. Mientras que las muestras de maíz culli mostraron un incremento de la expansión con la disminución de la humedad únicamente a 120°C. Byars (2015) encontró un aumento del Gexp con la disminución de la humedad de extrusión en mezclas de harina de maíz con chíca a temperaturas y humedades cercanas a la de este trabajo. El agua actúa como plastificante del almidón, cambiando la estructura molecular de la amilopectina, reduciendo la elasticidad del material durante la extrusión, induciendo un colapso debido a las altas presiones de vapor alcanzadas (Bisharat, 2013).

El Gexp puede variar de acuerdo al contenido de almidón y sus propiedades reológicas (Jozinovic, 2016).

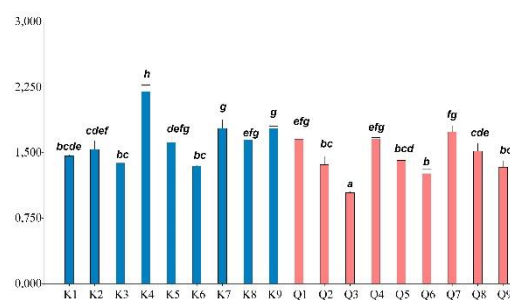


Figura 1: Grado de expansión de harinas integrales extrudidas de maíz culli y quínoa.

El IAA está relacionado con el grado de cocción de las harinas, altas absorciones de agua de las harinas indican mayor gelatinización del almidón. El ISA se asocia a la producción de almidón dañado o moléculas de bajo peso molecular derivadas de la degradación de biopolímeros solubles en agua por cizallamiento (Contreras Jiménez, 2014).

Se encontró que todas las muestras extrudidas aumentaron su IAA en relación a las harinas nativas (Fig. 2.A). HK tuvo un valor de 2,72±0,06

(g/g), mientras que la condición 20%H-120°C alcanzó un valor de $6,71\pm0,22$ (g/g). HQ presentó un valor de $2,78\pm0,05$ (g/g) y la condición 20%H-120°C alcanzó el valor máximo de $8,14\pm0,21$ (g/g). El IAA de las harinas extrudidas de ambos cultivos tendió a aumentar con la disminución de la humedad a 100 y 120°C. Néder Suarez (2016) extruyendo en condiciones similares a las de este trabajo, harina de maíz refinada, encontró la misma tendencia. Seth (2015) informa lo contrario, empleando temperaturas similares en matrices de trigo y en mezclas de almidones. Esto podría deberse a que las humedades empleadas en ese trabajo fueron menores (12-24%H). Cuando las cantidades de agua son limitadas (<30%) u otros disolventes están presentes, se necesita más calor para completar la gelatinización y ésta se produce en un rango más amplio de temperatura (Abd El-khalek, 2010), lo que podría explicar esta diferencia.

Las Figuras 2.A y 2.B muestran el ISA de las harinas extrudidas. Las harinas nativas de maíz cullí y quínoa presentaron valores de ISA de $5,49\pm0,22$ y $10,71\pm0,12\%$ respectivamente. El ISA de las harinas extrudidas de maíz cullí fueron menores que las de quínoa y variaron entre $1,78\pm0,06$ y $3,84\pm0,04\%$, correspondientes a 25%H-120°C y 20%H-100°C respectivamente. El ISA de las muestras extrudidas de quínoa variaron entre $5,28\pm0,40$ y $21,64\pm0,29$, correspondiente a las condiciones 20%H-120°C y 30%H-100°C respectivamente. La extrusión de las harinas redujo el ISA en varias muestras respecto a su homóloga nativa. Esto podría deberse al fenómeno de repolimerización de compuestos de bajo peso molecular (Stephen, 2006).

Los lípidos libres extraíbles en muestras de harinas extrudidas se redujo en relación a los lípidos de las harinas nativas (Fig. 3). Esta reducción se asocia a un posible complejamiento de los lípidos con la amilosa de las harinas, lo que podría modificar las propiedades y la funcionalidad del almidón (Copeland, 2009; Byars, 2015).

La mayor reducción del %LL se dio en las muestras de maíz cullí, con valores de lípidos libres de entre el $17,21\pm0,48$ - $25,47\pm0,39\%$. Los lípidos libres de los extrudidos de quínoa variaron entre $43,04\pm0,86$ - $51,50\pm0,27\%$. El mayor complejamiento en harinas de maíz cullí extrudidas podrían deberse a su mayor contenido de amilosa (Abd El-khalek, 2010). La formación de estos complejos tiene un efecto muy importante en la reducción de la solubilidad en agua de la

amilosa y por consiguiente en el grado de gelatinización del almidón (Jozinović, 2016), lo que podría explicar la disminución del ISA en las harinas extrudidas de maíz cullí.

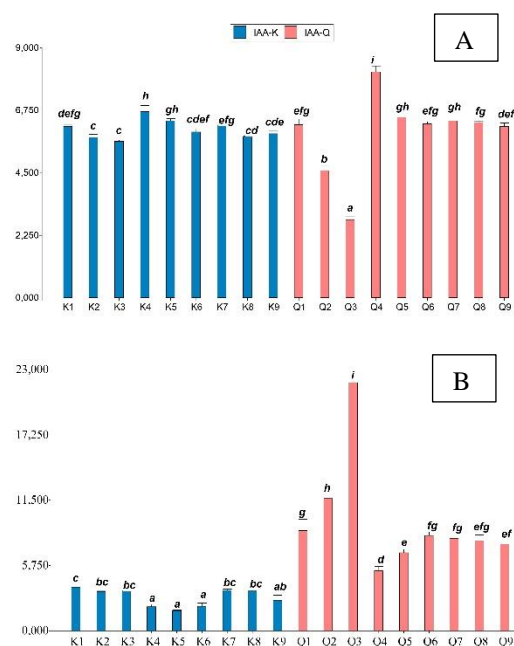


Figura 2: A) Índice de Absorción de Agua. B) Índice de Solubilidad en Agua de harinas integrales extrudidas de maíz cullí y quínoa.

La determinación del color puede estimar la intensidad del tratamiento térmico en harinas (Salamani Becker, 2014). Los parámetros de color de las muestras extrudidas fueron variables (Tabla 3). Hubo una reducción de L en todas las muestras, HK tenía un valor de $71,29\pm0,04$ y el mínimo alcanzado fue de $43,70\pm0,11$ en la condición 25%H-100°C. HQ, tenía un valor inicial de $85,60\pm0,04$ y el menor valor de L se dio a 30%H-140°C, con $72,58\pm0,06$. Hubo una tendencia a la reducción de L a mayores humedades.

El parámetro a aumentó en los extrudidos de maíz cullí y se redujo en los de quínoa. En la HK el parámetro tenía un valor inicial de $2,90\pm0,01$ y aumentó a un máximo de $5,68\pm0,06$ en la condición 20%H-140°C. Mientras que la HQ que tenía un valor inicial de $0,88\pm0,06$, se redujo a un valor mínimo de $0,00\pm0,01$ en la condición 20%H-100°C. A bajas humedades el parámetro a

fue mayor para las muestras de maíz culli extrudidas, mientras que los extrudidos de quínoa presentaron una mayor disminución.

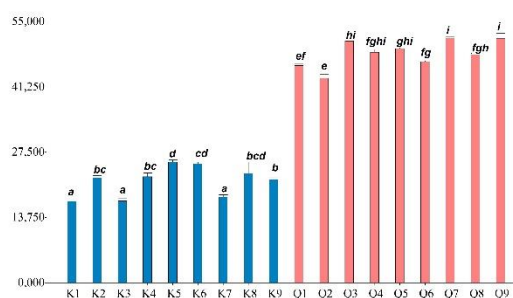


Figura 3: Porcentaje de Lípidos Libres presentes en muestras extrudidas de maíz culli y quínoa.

El parámetro b aumentó para todas las muestras extrudidas. HK tenía un valor inicial de $3,75 \pm 0,02$ y tomó el valor máximo $2,79 \pm 0,04$ a 20% H-140°C. HQ tenía un valor inicial de b de $13,32 \pm 0,13$ y aumentó a un valor máximo de $16,70 \pm 0,05$ a 30% H-100°C. Se observó una tendencia al aumento del parámetro b a bajas humedades en las muestras de maíz culli, esa tendencia se observó en las muestras de quínoa, pero solo a 100°C.

La humedad de extrusión tuvo mayor efecto sobre los parámetros de color que la temperatura. Razzaq (2012) y Becker (2014) encontraron el mismo efecto de la humedad de extrusión sobre el color de muestras de sémolas de maíz y harina de arroz. Los cambios de color de las harinas sometidas a extrusión, se atribuyen a reacciones de Maillard, caramelización, hidrólisis y degradación de los pigmentos naturales de la materia prima (Jozinovic, 2016).

Tabla 3. Color de harinas extrudidas de maíz culli y quínoa.

Id.	L	a	b
K1	45,54±0,12e	5,40±0,04k	2,42±0,03e
K2	43,70±0,11a	4,69±0,02h	1,38±0,03a
K3	43,79±0,12a	4,41±0,02f	1,53±0,05b
K4	45,41±0,03e	5,34±0,03jk	2,18±0,03d
K5	44,35±0,01b	4,86±0,05i	1,72±0,02c
K6	43,88±0,1a	4,56±0,03g	1,45±0,03ab
K7	46,41±0,11f	5,68±0,06l	2,79±0,04f
K8	44,95±0,04d	5,25±0,03j	1,82±0,02c
K9	44,61±0,09c	4,84±0,08i	1,52±0,03b
Q1	73,26±0,05i	0,00±0,01a	18,18±0,04jk
Q2	74,14±0,07l	0,35±0,02cd	18,08±0,04j
Q3	74,86±0,05m	1,07±0,02e	16,70±0,05g
Q4	74,04±0,03l	0,09±0,02ab	18,07±0,05ij
Q5	73,49±0,11ij	0,40±0,03cd	18,33±0,03l
Q6	73,61±0,06jk	0,45±0d	18,28±0,03kl
Q7	73,75±0,03k	0,16±0,01b	18,62±0,01m
Q8	73,00±0,09h	1,11±0,04e	17,93±0,12h
Q9	72,58±0,06g	0,30±0,02c	17,93±0,04hi

Se determinó la capacidad de expansión de las masas elaboradas con harinas integrales sustituidas con sus homólogos extrudidos. A los 20min de fermentación se alcanzó el punto de mayor expansión, este punto se analizó junto a las propiedades tecno-funcionales de las muestras a través de un ACP (Fig.4). El volumen desarrollado por las masas de quínoa fueron superiores a las de maíz culli. Las harinas extrudidas en la condición 25% H-100°C empleadas para elaborar las masas desarrollaron los mayores volúmenes, con ΔV de

10cm^3 y $25,5\text{cm}^3$ para el maíz culli y quínoa respectivamente. Las masas sustituidas con harinas extrudidas presentaron mayor volumen que el control de harinas 100% nativas y lo mantuvieron en el tiempo. Las masas control colapsaron al cabo de 20 min. Martinez (2015), encontró este mismo efecto al adicionar harina extrudida a masas de arroz sin gluten.

El ACP muestra una correlación positiva entre el volumen desarrollado por las masas de quínoa sustituidas y el aumento de %LL; en las masas de

maíz culli hay una correlación negativa. Es posible que los lípidos complejados fortalezcan las masas sin gluten, proveyendo la rigidez necesaria a las masas para resistir la fermentación, pero en cantidades bajas. Un alto complejamiento estaría asociado a masas de menor volumen.

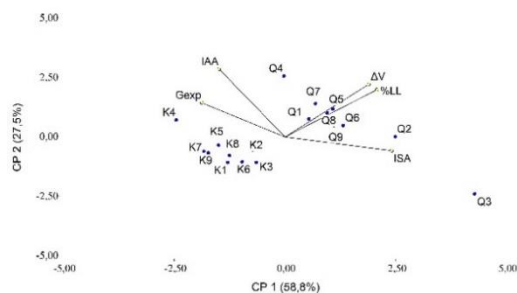


Figura 4: Relación de la expansión de masas (ΔV en cm^3) de harinas integrales nativas sustituidas con sus homólogas extrudidas (maíz culli y quínoa) y su correlación con las propiedades tecno-funcionales analizadas.

Los parámetros de color se excluyeron del análisis debido a que dificultaba la lectura de los resultados del ACP.

4. CONCLUSIÓN

El tratamiento de cocción por extrusión de las harinas integrales de granos andinos permitió obtener un material aplicable en panadería. La humedad de extrusión tuvo mayor efecto sobre los cambios en las propiedades tecno-funcionales que la temperatura. Se pudo mejorar la capacidad de expansión de las masas sin gluten y evitar su colapso durante la fermentación. El porcentaje de lípidos libres tuvo un efecto importante sobre la calidad de las masas, requiriendo niveles altos de lípidos libres que se traduce en un menor complejamiento de los lípidos con la amilosa.

5. REFERENCIAS

Abd El-Khalek, E., & Janssens, G. P. J. Effect of extrusion processing on starch gelatinisation and performance in poultry. *World's Poultry Science Journal*. 66(1): 53-64, 2010.

Agama-Acevedo, E., Ottenhof, M. A., Farhat, I. A., Paredes-López, O., Ortíz-Cereceres, J., & Bello-Pérez, L. A. Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. *Agrociencia*, 39(4): 419-429, 2005.

Agama-Acevedo, E., Salinas-Moreno, Y., Pacheco-Vargas, G., & Bello-Pérez, L. A. Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 2(3): 317-329, 2011.

AOAC International. (2014). Official Methods of Analysis *International*. www.aoca.org. 2017.

Becker, F. S., Eifert, E. D. C., Soares Junior, M. S., Tavares, J. A. S., & Carvalho, A. V. Physical and functional evaluation of extruded flours obtained from different rice genotypes. *Ciência e Agrotecnologia*. 38: 367-374, 2014.

Bisharat, G. I., Oikonomopoulou, V. P., Panagiotou, N. M., Krokida, M. K., & Maroulis, Z. B. Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food research international*. 53(1): 1-14, 2013

Byars, J. A., & Singh, M. Properties of extruded chia-corn meal puffs. *LWT-Food Science and Technology*. 62(1): 506-510, 2015.

Contreras Jiménez, B., MoralesSanchez, E., Reyes-Vega, M. L., & Gaytán-Martínez, M. Propiedades funcionales de harinas de maíz nixtamalizado obtenidas por extrusión a baja temperatura. *CyTA-Journal of Food*. 12(3): 263-270, 2014.

Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., & Tang, M. C. Form and functionality of starch. *Food hydrocolloids*. 23(6): 1527-1534, 2009.

Cornejo, F., & Rosell, C. M. Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality. *LWT-Food Science and Technology*. 62(2): 1203-1210, 2015.

Díaz, J. M. R., Suuronen, J. P., Deegan, K. C., Serimaa, R., Tuorila, H., & Jouppila, K. Physical and sensory characteristics of corn-based extruded snacks containing amaranth, quinoa and kañiwa flour. *LWT-Food Science and Technology*. 64 (2): 1047-1056, 2015.

Escalante Aburto, A., Ramírez Wong, B., Torres Chávez, P. I., Figueroa Cárdenas, J. D., López Cervantes, J., Barrón Hoyos, J. M., & Morales-Rosas, I. Effect of extrusion processing parameters on anthocyanin content and physicochemical properties of nixtamalized blue corn expanded extrudates. *CyTA-Journal of Food*. 11(1): 29-37, 2013.

Garrido, C., & García, D. Vinculación de las universidades con los sectores productivos. *Casos de Iberoamérica*, 1 (7): 87-98, 2016.

- Giménez, M. A., Gámbaro, A., Miraballes, M., Roascio, A., Amarillo, M., Sammán, N., & Lobo, M. Sensory evaluation and acceptability of gluten-free Andean corn spaghetti. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95(1): 186-192, 2015.
- Gómez, M. & Martínez, M. M. Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods. *Journal of Cereal Science*. 67: 68-74, 2016.
- Hamada S. Hegazy, Abo El-Fath A. El-Bedawey, El-Sayed H. Rahma, Ahmed M. Gaafar. Effect of Extrusion Process on Nutritional, Functional Properties and Antioxidant Activity of Germinated Chickpea Incorporated Corn Extrudates. *American Journal of Food Science and Nutrition Research*. 4 (1): 59-66, 2017.
- Jozinović, A., Šubarić, D., Ačkar, Đ., Babić, J., & Miličević, B. Influence of spelt flour addition on properties of extruded products based on corn grits. *Journal of Food Engineering*. 172: 31-37, 2016.
- Kong, X., Zhu, P., Sui, Z. & Bao, J. (2015). Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinisation temperature combinations. *Food chemistry*. 172: 433-440, 2015.
- León, A. & Rosell, C. *De tales panes, tales harinas: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica*. Báez Ediciones. Argentina. 2007.
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D. y Fang, Z. Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 19 (1): 218-246, 2020.
- Ma, C., Fan, Y., Wu, S., Zhang, Z., & Zhang, D. Analysis of the Complex Index of Extruded Corn Starch and Degermed Corn. *Journal of Food Research*. 6(6): 56, 2017.
- Martínez M. M. Influencia de la adición de harinas extruidas en la elaboración de panes de arroz. Universidad de Valladolid. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/1096>. 2015.
- Martínez, M. M., Pico, J., & Gómez, M. Physicochemical modification of native and extruded wheat flours by enzymatic amylolysis. *Food chemistry*. 167: 447-453, 2015.
- Martínez, M., Oliete, B., & Gómez, M. Effect of the addition of extruded wheat flours on dough rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*. 57(3): 424-429, 2013.
- Néder Suarez D., Quintero Ramos A. & Amaya Guerra C.A. Efecto de la extrusión-cocción en la formación de almidón resistente. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 1(1): 36-41, 2016.
- Pecoroni Herguedas, M. Modificación de la molienda de arroz: Efectos en la calidad de las harinas y en su adecuación a procesos de panificación. Universidad de Valladolid. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/29325>. 2017.
- Razzaq, M. R., Anjum, F. M., Khan, M. I., Khan, M. R., Nadeem, M., Javed, M. S., & Sajid, M. W. Effect of temperature, screw speed and moisture variations on extrusion cooking behavior of maize (*Zea mays*. L). *Pakistan Journal of Food Sciences*. 22(1): 12-22, 2012.
- Sánchez, H. D., González, R. J., Osella, C. A., Torres, R. L., & De la Torre, M. A. G. Elaboración de pan sin gluten con harinas de arroz extruidas elaboración of bread without gluten from extruded rice flours. *CYTA-Journal of Food*. 6(2): 109-116, 2008.
- Seth, D., Badwaik, L. S., & Ganapathy, V. Effect of feed composition, moisture content and extrusion temperature on extrudate characteristics of yam-corn-rice based snack food. *Journal of food science and technology*. 52(3): 1830-1838, 2015.
- Shotts, M. L., Pujolras, M. P., Rossell, C., & Rodríguez-Saona, L. Authentication of indigenous flours (Quinoa, Amaranth and kañiwa) from the Andean region using a portable ATR-Infrared device in combination with pattern recognition analysis. *Journal of Cereal Science*. 82: 65-72, 2018.
- Stephen, A.M., & Phillips, G.O. *Food Polysaccharides and Their Applications*. CRC Press. Londres. 2006.
- Turkut, GM, Cakmak, H., Kumcuoglu, S. & Tavman, S. Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*. 69: 174-181, 2016.
- Wu, K. L., Sung, W. C., & Yang, C. H. Characteristics of dough and bread as affected by the incorporation of sweet potato paste in the formulation. *Journal of marine science and technology*. 17(1): 13-22, 2009.