

# Calidad nutricional y propiedades físicas de panes libres de gluten

## Nutritional quality and physical properties of gluten-free breads

Miranda-Villa, Patricia Paola<sup>1,2</sup>; Mufari, Jesica Romina<sup>2</sup>; Bergesse, Antonella Estefania<sup>2</sup>; Planchuelo, Ana María<sup>3</sup>; Calandri, Edgardo Luis<sup>1,2</sup>

1 Instituto de Ciencias y Tecnología de los Alimentos Córdoba (ICyTAC - CONICET). Universidad Nacional de Córdoba.

2 Instituto de Ciencias y Tecnología de los Alimentos (ICTA). Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.

3 Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN - CONICET). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.

Recibido: 21/mayo/2018. Aceptado: 15/septiembre/2018.

### RESUMEN

**Introducción:** los panificados libres de gluten (LG) presentan dificultades tecnológicas en su elaboración, una textura muy diferente a sus homólogos con gluten y una calidad nutricional muchas veces deficiente por el uso de harinas refinadas y almidones, que proveen alta densidad energética y bajos valores nutricionales.

**Objetivo:** evaluar las características nutricionales y físicas de panes libres de gluten empleando mezclas de harinas y almidones.

**Materiales y métodos:** Los panes fueron elaborados con harina integral de quinoa (HQ), harina de arroz (HA), harina de lupino blanco (HL), almidones de maíz (MZ) y mandioca (MA). Se aplicó un diseño experimental de mezclas D-optimal ajustándose a una ecuación de segundo orden y considerando como variables predictoras el contenido de carbohidratos, proteínas, lípidos y minerales. Fueron elaboradas 20 formulaciones donde se analizaron el volumen específico, la dureza y uniformidad alveolar. La formulación optimizada fue comparada su composición proximal y perfil de aminoácidos con panes LG comerciales.

**Resultados y discusiones:** los panes con mezclas del 35-41% HQ, 18% HL y HA entre 18 y 29%, mostraron un destacado contenido en proteínas (9%), lípidos (3%) y minerales totales (1,8%). Estas formulaciones de panes LG presentaron una dureza que varió entre 4,09 y 7,51 N, un volumen específico entre 1,53 y 1,95 cm<sup>3</sup>/g y una uniformidad alveolar entre 1,38 y 2,7. La formulación optimizada (P0) fue la compuesta por 41% HQ, 20% HA, 18% HL, 11% MZ y 10% MA. Al comparar P0 con los panes comerciales, se pudo observar diferencias significativas (P<0,05) en el contenido de proteínas (11,21%), lípidos (3%) y minerales totales (2,27%), destacándose P0 por presentar los mayores valores nutricionales.

**Conclusiones:** Se logró un producto panificable apto para celíacos donde el uso HQ y HL, como principales componentes, tuvieron un efecto positivo sobre la calidad nutricional y características físicas de los panes evaluados.

### PALABRAS CLAVES

Productos panificables, celiarquía, panes libres de TACC, *Chenopodium quinoa*, *Lupinus albus*.

### ABSTRACT

**Introduction:** The gluten free bread (GF) free bread have technological difficulties in its development, the texture is very different from their counterparts with gluten and the nutritional quality is often poor by the use of refined flours and starches, which provide high energy density and low nutritional values.

**Correspondencia:**  
Patricia Miranda Villa  
pmirandavilla@gmail.com

**Aim:** Nutritional and physical characteristics evaluation of breads from mixtures of gluten-free flours and starches.

**Materials & methods:** Quinoa flour (HQ), rice flour (HA), white lupine flour (HL), cornstarch (MZ) and starch from cassava (MA) were used to make the breads dough. It was applied an experimental design of mixing D-optimal, adjusting to a second order equation and considering the content of carbohydrates, proteins, lipids and minerals as predictor variables. Volume, hardness and alveolar uniformity of crumb were analysed in 20 formulations. The optimized formulation was compared by their proximate composition and profile of amino acids with GF commercial breads.

**Results and discussions:** Breads with mixtures of 35-41% HQ, 18% HL, 18-29% HA has presented an outstanding content in proteins (9%), lipids (3%), and total minerals (1.8%). The 20 LG bread formulations presented a hardness that ranged between 7.51 and 4.09 N, a specific volume ranging from 1.53 to 1.95 cm<sup>3</sup>/g and alveolar uniformity between 1.38 and 2.7. The optimized formulation (P0) was composed of 41% HQ, 20%, 18% HL, 11% MZ and 10% MA. Comparing the P0 with the LG commercial bread loaf, significant differences could be observed (P<0.05) in the content of proteins (11.21%), lipids (3%) and total minerals (2.27%), highlighting the bread of the P0 by presenting the highest nutritional values.

**Conclusions:** It was achieved a suitable gluten-free product where the use of quinoa and sweet lupine flours as main components had a positive effect on the nutritional quality and to the physical properties of testing bread loafs.

## KEYWORDS

Bakery products, celiac disease, TACC-free breads *Chenopodium quinoa*, *Lupinus albus*.

## INTRODUCCIÓN

El pan y sus derivados farináceos, son considerados los alimentos básicos de la dieta humana y forman parte de la cultura popular de distintas civilizaciones y estructuras sociales. Los primeros documentos de panes datan de más de 6000 años a.C. y consistían en una masa de harina de un cereal y agua que resultaba en lo que hoy se conoce como pan ácimo. La evolución del pan estuvo relacionada con la incorporación de la levadura que permitió que la masa leude y el pan se torne más liviano y con una miga más esponjosa, tal como se observa en los distintos tipos de panes en la actualidad.

El leudado de la masa está dado por la composición química del gluten, que es una mezcla compleja de cientos de proteínas que se encuentran almacenadas en el endosperma de los granos de los cereales, y que engloban dos principales tipos de proteínas, las prolaminas y las gluteninas. Cada ce-

real tiene un tipo especial de prolaminas; las gliadinas predominan en el trigo, las secalinas en el centeno, las aveninas en la avena y las hordeínas en la cebada<sup>1</sup>. Una de las funciones principales del gluten en los productos panificables es crear la estructura de la masa por el atrapamiento del CO<sub>2</sub> liberado durante la fermentación de la harina por la acción de las levaduras, dándole al pan una mejor textura, sabor y retención de humedad<sup>2</sup>.

En la actualidad se reconocen varias afecciones asociadas con la ingesta de gluten y otras proteínas relacionadas, pero las enfermedades más comunes son la celiaca (EC) y la sensibilidad no celiaca al gluten<sup>3</sup>. En particular, la EC es un trastorno autoinmune en el que las proteínas de los cereales como el trigo, la avena, la cebada y el centeno que en su conjunto se los asocia con la sigla TACC (por las iniciales de sus nombres), dañan al intestino delgado, causando diarrea, pérdida de peso, desnutrición y, si no se trata, una morbilidad significativa y aumento del riesgo de mortalidad<sup>4</sup>. El único tratamiento existente para evitar la EC consiste en eliminar el gluten de la alimentación, lo que constituye un gran inconveniente dado que casi todos los cereales TACC forman parte de la dieta humana en todo el mundo y la mayoría de los alimentos procesados contienen alguno de estos cereales<sup>5</sup>.

Hasta hace unas dos décadas, la EC estaba considerada como una enfermedad poco frecuente, pero hoy por hoy, es evidente y un hecho confirmado que es una enfermedad muy generalizada que presenta una distribución mundial bastante homogénea, con una media del orden del 2% en la población general. También es reconocido que sigue siendo claramente subestimada, quedando frecuentemente infra-diagnosticada<sup>6</sup>. La incidencia de la EC en los países europeos está entre 1:2500 y 1:10004<sup>7</sup>; en Norte América, Norte de África, Oriente medio y en Australia se confirman prevalencias de 1:300 hasta 1:1405<sup>8</sup>. En Argentina, la epidemiología de esta enfermedad es comparable con Europa, América del Norte y Asia, mostrando una prevalencia en la población general de 1:167 y de 1,26% en un estudio multicéntrico nacional en la población pediátrica<sup>9</sup>.

Los alimentos libres de gluten (LG) se presentan como una opción para evitar la EC y la disponibilidad en el mercado de productos elaborados a partir de harinas alternativas sin TACC va en aumento. Estos productos están combinados con aditivos como proteínas, hidrocoloides y emulsionantes que permiten mejorar características tecnológicas como el volumen, textura y alveolado de la miga; así como su calidad nutricional, que en muchos casos es deficiente, por el empleo de harinas refinadas y almidones que proveen alta densidad energética y bajo valor nutricional.

Cuando se trata de macronutrientes, la literatura posee descripciones claves señalando que una ingesta con mayor cantidad de lípidos y menor en carbohidratos, puede ser

atribuible a los alimentos procesados sin gluten que suelen ser ricos en grasas y azúcares. Estos alimentos tienen un índice glucémico alto, lo que puede tener repercusiones clínicas, teniendo en cuenta la mayor incidencia de sobrepeso u obesidad en niños celiacos con dicho tipo de dieta. Las dietas celíacas suelen tener un perfil de ácidos grasos en suero con un predominio de ácidos grasos saturados y mono insaturados y bajas concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados<sup>10</sup>, lo que en conjunto constituye un riesgo colateral para la salud.

Recientemente, el mercado de consumo de alimentos, está buscando cada vez más, productos nuevos con una calidad superior a los actuales y con mayores características nutricionales. Por esa razón, se están promoviendo investigaciones que evalúen productos panificables, de harinas de granos que provean un valor nutricional adicional, como son los de la quinoa<sup>11</sup>, el frijol<sup>12</sup>, el arroz<sup>13</sup>, el mijo<sup>14</sup>, el alforfón<sup>14</sup> y el teff<sup>15</sup>, y que a su vez contribuyan a mejorar las dietas y la salud poblacional.

### Objetivo general

Sobre la base de los antecedentes antes mencionados se propone ofrecer productos panificables tales como panes libres de gluten que sirvan como opciones en las dietas de las personas que tienen la enfermedad celíaca.

### Objetivos específicos

Desarrollar un producto horneado con características nutritivas y texturales destacadas y únicas.

Evaluar las características nutricionales y físicas de panes realizados con distintas proporciones en las mezclas de las siguientes harinas y almidones: integral de quinoa, harina de lupino blanco dulce, harina de arroz, almidón de maíz y de mandioca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración de los panes con características nutritivas y libres de gluten se eligieron las harinas integral de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), de lupino blanco (*Lupinus albus*) y arroz (*Oryza sativa* L), acompañados de los almidones de maíz (*Zea mays*) y mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). En particular, la quinoa y el lupino son granos ancestrales que en tiempos recientes han cobrado gran relevancia por sus notables cualidades nutritivas<sup>16,17</sup>, entre las cuales se destacan la calidad de su proteína, que además de no poseer gluten, presenta un alto valor nutricional, pues tiene todos los aminoácidos esenciales y algunos en elevada proporción<sup>18</sup>.

Los materiales usados para este estudio fueron granos de quinoa cosechados en Salta, Argentina en el año 2014. Estos fueron procesados de acuerdo con Cervilla & Miranda<sup>19</sup> para

la obtención de harina integral. La harina de lupino blanco fue proporcionada por Avelup Ltda. (Temuco, Chile), la harina de arroz y los almidones de maíz y de mandioca provienen del molino San Alberto (Misiones, Argentina).

### Diseño experimental y optimización de la formulación

Las formulaciones fueron preparadas aplicando un diseño experimental de mezclas D-optimal<sup>20</sup> utilizando el software DesignExpert® versión 7.0.0. y llevando a las mezclas al 100% de sus componentes. La correlación entre las variables independientes y la variable dependiente fue expresada en función de los términos de un polinomio de segundo orden:

$$Y = \sum_i \beta_i x_i + \sum_i \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + \sum_i \beta_{ii} x_i^2$$

Donde: Y es la respuesta;  $x_i$  las variables;  $\beta_i$ ,  $\beta_{ij}$  y  $\beta_{ii}$  los coeficientes lineales, de interacción y cuadráticos respectivos, que evalúan dichos efectos.

La formulación óptima fue seleccionada mediante la significancia de los términos que muestra el análisis de varianza ( $P < 0.05$ ) y el porcentaje de deseabilidad global (indica la importancia de cada respuesta al producto final), que tiene un valor de 100 cuando las mediciones son convenientes y de 0 cuando no lo son; considerando como variables predictivas minimizar el contenido de carbohidratos y maximizar el contenido de proteínas, lípidos y minerales.

### Proceso de elaboración de los panes libres de gluten

Para la elaboración de las formulaciones se utilizaron los ingredientes en las siguientes proporciones: harina integral de quinoa (HQ) (29 - 41%), harina de arroz (HA) (18 - 29%), harina de lupino blanco (HL) (8 - 18%), almidón de maíz (MZ) (6 - 12%) y almidón de mandioca (MA) (6 - 12%), agua (170%), levadura fresca (2%), sal (1,5%), azúcar (1%) e hidroxipropilmetilcelulosa (0,5%). Fueron realizadas 20 formulaciones con sus respectivos duplicados, mezclando todos los ingredientes en una batidora a máxima velocidad, durante 5 minutos; luego se colocaron 235 g de cada mezcla en moldes de silicona, seguido del leudado en una cámara durante 1 hora y temperatura a 35°C. A continuación, se hornearon a 180°C durante 35 minutos en un horno de convección forzada y con bandeja giratoria para uniformar la cocción. Después del horneado, los panes se dejaron enfriar a temperatura ambiente (20°C) durante 2 horas y luego fueron analizados.

### Composición nutricional de las harinas, almidones y panes libres de gluten

Las determinaciones fueron realizadas por triplicado empleando las técnicas de la AOAC Internacional<sup>21</sup> para los contenidos de lípidos totales (L) (920.39), proteína (P) (984.13) y minerales totales (M) (923.03). En la conversión del nitrógeno a proteína bruta se empleó el factor 6,25. Los hidratos de carbono (HC) se calcularon por diferencia empleando la expresión:  $HC = 100 - (L + P + M)$ .

El perfil de aminoácidos se midió en la formulación óptima y en panes libres de gluten existentes en el mercado local, mediante la hidrólisis ácida en reflujo con HCl 6M durante 24 horas (AOAC 994.12). La identificación y cuantificación de aminoácidos fueron determinadas por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) con detector UV, en un equipo Perkin Elmer®. La separación fue llevada a cabo con una columna Zorbax Eclipse Plus C18 (4,6 x 150 mm y tamaño de partícula de 5 µm) Agilent Technologies®; previa derivatización con etoximetilmalonato de dietilo<sup>22</sup>. Mediante el método de estándar externo y la comparación de espectros con un patrón de aminoácidos (AAS18, Fluka Analytical, Sigma Aldrich®), se identificaron los componentes de las muestras. Por último, la adquisición de los datos y su procesamiento fue realizada con el software Total Chrom Workstation versión 6.3.

### Evaluación de las características físicas

**Dureza de la miga.** El análisis de perfil de textura (TPA) fue realizado de acuerdo con Sciarini, *et al.*<sup>23</sup>, utilizando un TA-TX2i analizador de textura (Stable Micro Systems, Surrey, UK) equipado con una celda de carga de 500 N y una probeta cilíndrica de 25 mm de diámetro, sobre dos tajadas de cada formulación de pan y tomando la sección central de la miga con un tamaño de 3 cm<sup>2</sup> y 2,5 cm de espesor. El ensayo se realizó a una velocidad de 5 mm/s y una compresión máxima de 40%.

**Volumen y volumen específico.** El volumen (cm<sup>3</sup>) fue medido con un escáner láser manual marca FastSCAN (Polhemus, Inc, Christchurch, New Zealand), dispuesta sobre una Columna Porta Escáner de 84 cm de altura y una base de

madera giratoria de 30 cm de diámetro en donde fueron colocadas las muestras, el nivel de sensibilidad utilizado para la captura de las imágenes en 3D fue de 3. Por medio del software de procesamiento digital Geomagic Studio (edición de 64 bits, 2013.0.1, USA), se procesaron las imágenes a fin de obtener un valor de volumen preciso. El volumen específico (cm<sup>3</sup>/g) fue calculado como el cociente entre volumen y peso del producto.

**Uniformidad alveolar.** Las imágenes digitales de los panes, fueron obtenidas a partir de dos tajadas de 2,5 cm de espesor, utilizando un escáner fotográfico (HP G3010, Palo Alto, USA) con resolución de 600 ppp. Las imágenes en formato TIFF (2216 x 2513 pixeles), fueron convertidas a 8-bits y binarizadas de acuerdo con Ribotta, *et al.*<sup>24</sup>, utilizando el software ImageJ 1.46r (National Institutes of Health, USA). Se obtuvo la uniformidad alveolar, entendida esta última como la relación entre el número de alveolos pequeños ( $0,002 < x < 0,01$  cm<sup>2</sup>) y el número de alveolos grandes ( $0,01 < x < 2,0$  cm<sup>2</sup>).

### Procesamiento de los datos

Los resultados fueron expresados como la media aritmética, más-menos una desviación estándar ( $\bar{X} \pm \delta$ ). Se aplicó análisis de la varianza mediante la prueba DGC (DiRienzo, Guzmán y Casanoves) con un nivel de significancia  $P < 0,05$  para la identificación de diferencias significativas en las mediciones realizadas por triplicado. El software estadístico utilizado fue Infostat Versión Profesional<sup>25</sup>.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Composición nutricional de las harinas, almidones y panes libres de gluten

En la Tabla 1 se encuentran detallados los resultados del análisis proximal de las harinas y almidones utilizados en los panes estudiados. Se puede observar que la HA, MZ y MA poseen el mayor contenido de carbohidratos (>90%), cantidades despreciables de lípidos y minerales, y el más bajo contenido de proteínas a excepción del arroz que reportó el

**Tabla 1.** Composición nutricional de las harinas y almidones utilizados en la investigación.

	HQ	HA	HL	MZ	MA
Carbohidratos	77,03	89,74	36,4	99,13	98,73
Proteínas	13,73±0,77 <sup>c</sup>	9,64±0,69 <sup>b</sup>	46,85±0,60 <sup>d</sup>	0,78±0,06 <sup>a</sup>	1,11±0,05 <sup>a</sup>
Lípidos	8,29±0,57 <sup>b</sup>	0,49±0,06 <sup>a</sup>	13,31±0,25 <sup>c</sup>	0,05±0,02 <sup>a</sup>	0,05±0,02 <sup>a</sup>
Minerales totales	1,95±0,05 <sup>b</sup>	0,14±0,10 <sup>a</sup>	3,45±0,12 <sup>c</sup>	0,05±0,01 <sup>a</sup>	0,11±0,07 <sup>a</sup>

Se reporta la media ± desvíos estándar, expresados como g/100 g de harina y almidón en base seca. Letras distintas en la misma fila, son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). HQ, harina integral de quinoa; HA, harina de arroz; HL, harina de lupino blanco; MZ, almidón de maíz; MA, almidón de mandioca.

8,8%. Por el contrario, la harina integral de quinoa y lupino blanco poseen niveles inferiores de carbohidratos (76,03 – 36,39%) y valores superiores en proteínas (13,7 – 46,9%), lípidos (8,3 – 13,3%) y minerales totales (1,9 – 3,4%).

Las 20 formulaciones de panes analizadas se ilustran en la Figura 1, donde se presenta la composición nutricional en 100 g de pan. Se puede destacar en todas ellas su alto contenido de proteínas entre 7,3 y 9,5% atribuida principalmente a la participación de la harina de lupino blanco e integral de quinoa, superando a los panes libres de gluten constituido por harina de arroz y almidón de maíz reportado por Machado, *et al.*<sup>11</sup>, con un 3,4%. Entre las formulaciones más destacadas por su contenido superior en proteínas (9%), lípidos (3%) y minerales totales (1,8%), se encuentran: F1, F2, F4, F5, F11, F14 y F19; caracterizadas por presentar el 35-41% de HQ, 18% de HL y HA entre el 18 y 29%.

El uso de harina integral de quinoa y lupino blanco, pueden ser una opción a la hora de suplementar productos panificados libre de gluten que en la mayoría de los casos, presentan bajo contenido de nutrientes principalmente proteínas, vitaminas, minerales y fibra; convirtiéndose en un inconveniente para los celíacos debido a las deficiencias nutricionales ocurridas por la baja ingesta y mala absorción de macro y micronutrientes<sup>26</sup>. Promover el consumo de seudocereales y leguminosas, podría ser una posible solución a la deficiencia nutricional, ya que presentan una mayor cantidad de fibra,

ácidos grasos poliinsaturados, minerales y vitaminas que cereales como el arroz<sup>19, 10</sup>.

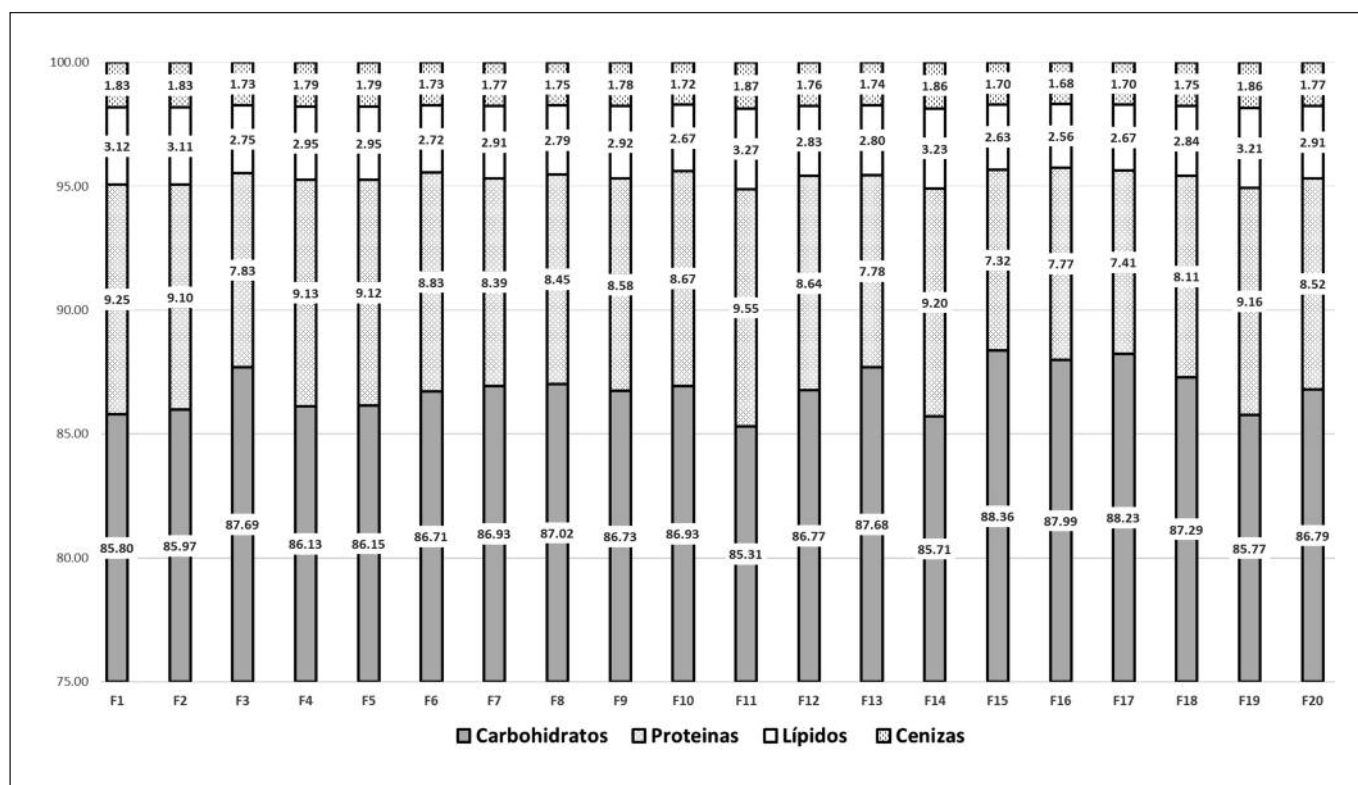
### Selección de la formulación optimizada

Las variables de respuesta carbohidratos, proteínas, lípidos y minerales fueron estadísticamente significativas para el modelo cuadrático, reportando p-valor de 0,0001; 0,0001; 0,0002 y 0,0002, respectivamente. Los coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) predichos y ajustados (Tabla 2), indicaron que el modelo fue un buen predictor para las variables de respuesta evaluadas. La interacción que no tuvo un efecto significativo en el aporte de nutrientes y que se omitió en la tabla por reportar un p-valor igual a 0,96, fue la constituida por MZ:MA.

Por su parte, teniendo en cuenta los términos del modelo de las variables analizadas, se destaca que la harina de lupino tuvo un efecto negativo en el aporte de carbohidratos, pero positivo en el aporte de proteínas y minerales. Por el contrario, la participación de la harina integral de quinoa y arroz influyeron positivamente en el contenido de todos los nutrientes de las formulaciones. Sin embargo, sus interacciones no lo fueron, sugiriendo menores respuestas al ser mezclados entre ellas y con HL, MZ y MA.

Los resultados de la optimización sugirieron diferentes proporciones de ingredientes que mejorarían la calidad de los panes libres de gluten, sin embargo, fue escogida aquella con

**Figura 1.** Composición nutricional (%) en 100 g de pan libre de gluten.



**Tabla 2.** Coeficientes de regresión estimados (términos reducidos) y coeficientes de determinación ( $R^2$ ) para los modelos de predicción.

Términos	Carbohidratos	Proteínas	Lípidos	Minerales
HQ	0,67	0,30	0,12	0,04
HA	0,36	0,70	0,21	0,06
HL	-0,26	1,58	0,36	0,09
MZ	-2,12	3,70	1,16	0,26
MA	4,82	-4,72	-1,47	-0,30
HQ:HA	0,01	-0,02	-0,01	-0,001
HQ:HL	0,01	-0,02	-0,003	-0,001
HQ:MZ	0,04	-0,05	-0,02	-0,003
HQ:MA	-0,05	0,07	0,02	0,004
HA:HL	0,02	-0,03	-0,01	-0,002
HA:MZ	0,05	-0,07	-0,02	-0,004
HA:MA	-0,06	0,08	0,02	0,005
HL:MZ	0,50	-0,06	-0,02	-0,004
HL:MA	-0,03	0,04	0,01	0,003
$R^2$ (%)	96,69	97,04	96,56	96,58
$R^2$ ajustado (%)	95,03	95,56	94,84	94,87

Todos los términos fueron significativo a  $P < 0,05$ . HQ, harina integral de quinoa; HA, harina de arroz; HL, harina de lupino blanco; MZ, almidón de maíz; MA, almidón de mandioca.

una deseabilidad igual a 100 que indicó una adecuada minimización del contenido de carbohidratos y la maximización en el contenido de proteínas, lípidos y minerales. Teniendo en cuenta lo anterior, la formulación optimizada fue la compuesta por el 41% HQ, 20% HA, 18% HL, 11% MZ y 10% MA, que presentó un 85% de carbohidratos, 8,1% de proteínas, 2,7% de lípidos y 1,7% de minerales.

Al validar la formulación de pan optimizada, realizando el experimento y sus mediciones nuevamente, los valores reales obtenidos son los que se presentan en la Tabla 3; aquí los coeficientes de variación fueron 1, 11, 8 y 13%, respectivamente, indicando que la variabilidad de la distribución muestral fue pequeña y que el programa predijo una formulación adecuada maximizando los nutrientes en el pan.

La composición nutricional y el perfil de aminoácidos de la formulación validada experimentalmente en comparación con dos formulaciones de panes libres de gluten existentes en el mercado, se muestran en la Tabla 3 donde P0 es el pan optimizado con valores reales, Pc1 es el pan comercial con semi-

llas en la corteza (girasol, lino y quinoa) y Pc2 es el pan comercial con mezcla de almidones sin semillas. Aquí se puede observar diferencias significativas en el contenido de proteínas, lípidos y minerales totales ( $P < 0,05$ ), destacándose P0 por presentar los mayores valores con 11,21% de proteínas; 3,0% de lípidos y 2,27% de minerales.

Los productos comerciales reportaron los menores valores en su composición nutricional debido a que son elaborados con harinas refinadas y almidones no enriquecidos o fortificados. En su mayoría a estos productos se les adicionan hidrocoloides, almidones modificados y grasas para mejorar su calidad tecnológica relacionada con el volumen y la textura, descuidando por otro lado el aporte de micronutrientes, proteínas y fibra que conducen a deficiencias nutricionales.

En el caso de P0 este déficit de nutrientes no se observa debido al uso de harinas integrales con buen aporte de micronutrientes y proteínas de alto valor biológico, lo cual se ve reflejado en el perfil de aminoácidos que son significativa-

**Tabla 3.** Composición nutricional del pan óptimo y comparativo con panes comerciales libres de gluten.

Formulaciones	P0	Pc1	Pc2
Carbohidratos	83,52 (1,4)*	90,82	89,82
Proteínas	11,21 ± 0,174 <sup>a</sup> (11,0)*	4,92 ± 0,050 <sup>b</sup>	2,83 ± 0,169 <sup>c</sup>
Lípidos	3,00 ± 0,033 <sup>c</sup> (7,7)*	3,48 ± 0,069 <sup>b</sup>	7,68 ± 0,220 <sup>a</sup>
Minerales totales	2,27 ± 0,001 <sup>a</sup> (13,0)*	1,77 ± 0,003 <sup>b</sup>	1,67 ± 0,024 <sup>b</sup>
Aminoácidos totales			
<i>Ac. Aspártico + Ac. glutámico</i>	2,26 ± 0,064	0,94 ± 0,342	0,01 ± 0,050
<i>Serina + Histidina</i>	0,86 ± 0,031	0,28 ± 0,008	0,01 ± 0,270
<i>Glicina</i>	0,46 ± 0,007	0,34 ± 0,083	-
<i>Treonina</i>	0,38 ± 0,001	0,21 ± 0,014	-
<i>Arginina</i>	0,82 ± 0,024	0,55 ± 0,247	-
<i>Alanina</i>	0,40 ± 0,009	0,27 ± 0,275	-
<i>Tirosina</i>	0,45 ± 0,026	0,12 ± 0,096	-
<i>Valina</i>	0,03 ± 0,013	-	-
<i>Metionina+cisteína</i>	3,56 ± 0,143	1,49 ± 0,400	0,10 ± 0,400
<i>Isoleucina</i>	0,47 ± 0,031	0,27 ± 0,197	0,02 ± 0,080
<i>Leucina</i>	0,72 ± 0,034	0,43 ± 0,202	0,01 ± 0,050
<i>Fenilalanina</i>	0,51 ± 0,054	0,37 ± 0,452	0,01 ± 0,080
<i>Lisina</i>	0,20 ± 0,017	0,16 ± 0,166	-

Se reporta la media ± desvíos estándar, expresados como g/100 g de pan en base seca. Letras distintas en la misma fila, son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). \*son los coeficientes de variación (%) calculados con los valores de la formulación optimizada por el software y los obtenidos experimentalmente.

mente mayores, siendo sobresaliente los contenidos en aminoácidos azufrados (metionina y cisteína).

### Evaluación de las características físicas

Los resultados de las características físicas y texturales de los panes se reportan en la Tabla 4, con la presencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la mayoría de las mediciones. Existe una relación inversa de la dureza de la miga y el volumen específico, a medida que los panes son más firmes, el volumen específico disminuye. En las formulaciones 1, 2, 3, 4, 9 y 20 las harinas representan más del 80% y los almidones entre el 12 y 18%, con durezas de 6 y 7 N. Por el contrario, aquellas mezclas con porcentajes mayores al 21% en almidones y del 76 – 79% en harinas las durezas fueron menores (4 y 5 N). Un comportamiento similar fue reportado por

Elgeti, *et al.*<sup>27</sup> y Wang, *et al.*<sup>28</sup> en formulaciones con 40% y 60% de harina integral de quinoa, respectivamente.

El volumen específico se vio favorecido por la mezcla de almidones al 21% y harinas menores al 80%, como en los panes 7, 8, 14, 15 y 19 que reportaron valores entre 1,8 y 1,9 ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ), estos resultados son significativamente menores a los mencionados por Buresova, *et al.*<sup>14</sup>, en panes con harina de trigo (4,1  $\text{cm}^3/\text{g}$ ), pero superiores a los panes con amarantho, garbanzo y trigo sarraceno (1,7  $\text{cm}^3/\text{g}$ ).

Al analizar la estructura de la miga de los panes, se pudo observar que la menor uniformidad alveolar se presentó en F11. En las demás formulaciones no existieron diferencias significativas en esta característica, reportando valores mayores. En general, la miga de los panes evaluados (Figura 2d y e) presentó un mayor porcentaje de alveolos con tamaño pe-

**Tabla 4.** Propiedades físicas de las formulaciones evaluadas.

	HQ	HA	HL	MZ	MA	Dureza (N)	Volumen específico (cm <sup>3</sup> /g)	Uniformidad alveolar
F1	41	29	18	6	6	6,53±0,023 <sup>c</sup>	1,66±0,008 <sup>d</sup>	1,93±0,019 <sup>a</sup>
F2	41	24	18	6	12	7,17±0,191 <sup>b</sup>	1,59±0,035 <sup>e</sup>	1,87±0,022 <sup>a</sup>
F3	41	29	12	12	6	6,62±0,157 <sup>c</sup>	1,63±0,049 <sup>d</sup>	2,47±0,027 <sup>a</sup>
F4	35	29	18	12	6	7,49±0,147 <sup>a</sup>	1,53±0,080 <sup>e</sup>	1,72±0,012 <sup>a</sup>
F5	35	29	18	6	12	5,31±0,156 <sup>e</sup>	1,76±0,000 <sup>c</sup>	1,66±0,036 <sup>a</sup>
F6	29	29	18	12	12	5,84±0,047 <sup>d</sup>	1,83±0,049 <sup>b</sup>	2,70±0,064 <sup>a</sup>
F7	39	27	13	12	9	4,67±0,001 <sup>f</sup>	1,95±0,020 <sup>a</sup>	2,11±0,038 <sup>a</sup>
F8	36	28	16	9	11	4,68±0,099 <sup>f</sup>	1,88±0,025 <sup>b</sup>	1,92±0,079 <sup>a</sup>
F9	40	28	16	10	6	7,51±0,180 <sup>a</sup>	1,69±0,014 <sup>d</sup>	1,81±0,009 <sup>a</sup>
F10	29	29	18	12	12	5,69±0,156 <sup>e</sup>	1,72±0,019 <sup>c</sup>	2,49±0,334 <sup>a</sup>
F11	41	24	18	12	6	4,65±0,146 <sup>f</sup>	1,73±0,032 <sup>c</sup>	1,38±0,148 <sup>b</sup>
F12	35	24	18	12	12	5,73±0,021 <sup>d</sup>	1,79±0,011 <sup>c</sup>	2,34±0,107 <sup>a</sup>
F13	41	22	13	12	12	4,51±0,095 <sup>c</sup>	1,74±0,051 <sup>c</sup>	2,28±0,355 <sup>a</sup>
F14	41	18	18	12	12	4,88±0,010 <sup>f</sup>	1,80±0,006 <sup>b</sup>	1,81±0,131 <sup>a</sup>
F15	41	29	8	9	12	4,09±0,060 <sup>g</sup>	1,82±0,034 <sup>b</sup>	2,06±0,166 <sup>a</sup>
F16	34	29	13	12	12	5,31±0,021 <sup>e</sup>	1,75±0,004 <sup>c</sup>	2,00±0,153 <sup>a</sup>
F17	41	29	8	12	9	4,54±0,497 <sup>f</sup>	1,78±0,002 <sup>c</sup>	2,39±0,318 <sup>a</sup>
F18	41	29	12	6	12	5,33±0,257 <sup>e</sup>	1,73±0,009 <sup>c</sup>	2,35±0,267 <sup>a</sup>
F19	41	18	18	12	12	4,95±0,015 <sup>f</sup>	1,83±0,012 <sup>b</sup>	1,90±0,656 <sup>a</sup>
F20	40	27	16	8	9	7,06±0,059 <sup>b</sup>	1,55±0,004 <sup>e</sup>	1,86±0,046 <sup>a</sup>

Los valores de los ingredientes para cada una de las formulaciones están expresados como g/100g en base seca. HQ, harina integral de quinoa; HA, harina de arroz; HL, harina de lupino blanco; MZ, almidón de maíz; MA, almidón de mandioca. Se reporta la media ± desvíos estándar. Letras distintas en la misma fila, son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

queños ( $0,002 < x < 0,005$  cm<sup>2</sup>), con forma irregular y poco homogéneo en el área analizada. Esta característica es un factor común en los panificados libres de gluten debido a la débil retención de los gases que se generan durante el leudado y la cocción.

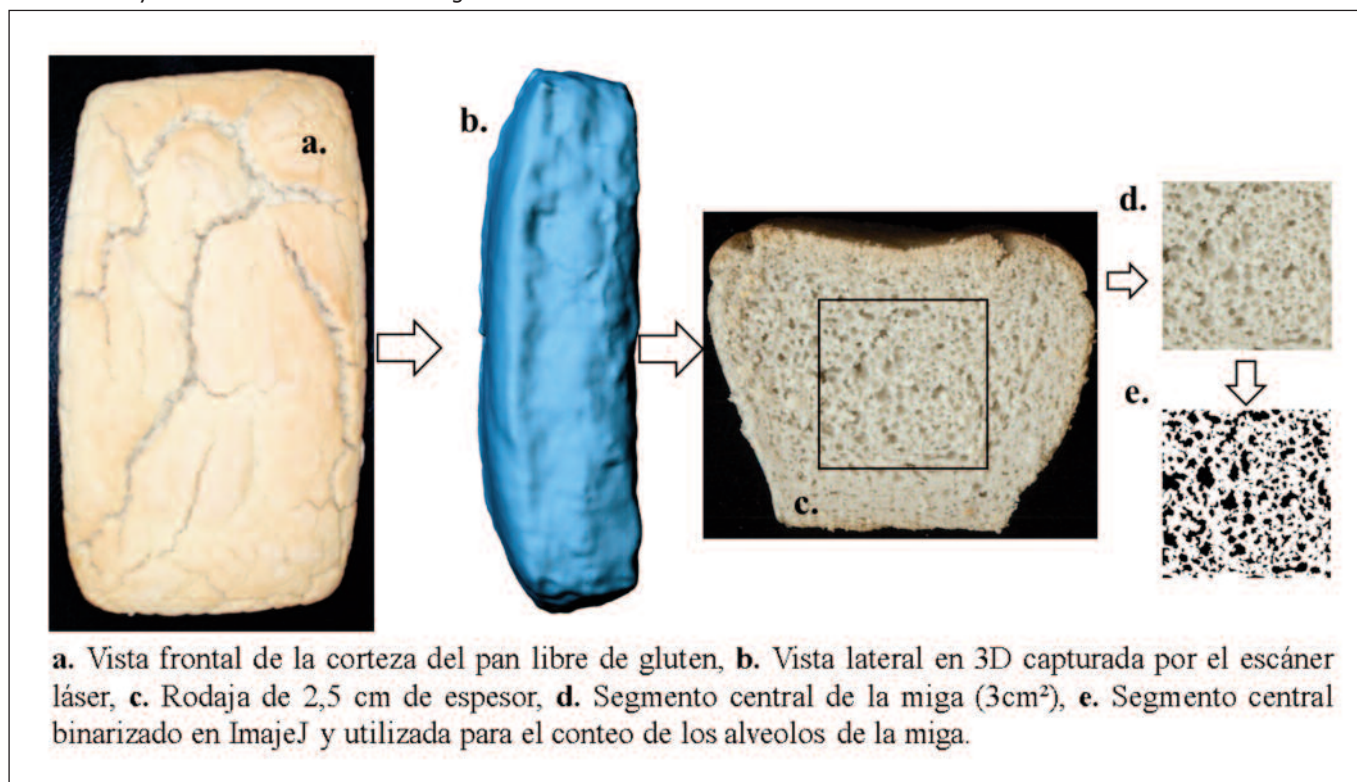
## CONCLUSIONES

Se pudo predecir la formulación más adecuada utilizando proteínas de origen vegetal, que maximizaron la calidad nu-

tricional y el mejoramiento de la textura, el volumen específico y la estructura de la miga. La incorporación de harina integral de quinoa y harina de lupino blanco en los panes libres de gluten, tuvieron un efecto positivo sobre su perfil nutricional destacándose su aporte de proteínas, lípidos y minerales totales. Es evidente que la formulación de pan optimizada que contiene 41% de HQ, 20% de HA, 18% de HL, 11% de MZ y 10% de MA tuvo un aporte significativo de nutrientes en comparación con las existentes en el mercado, constituidas principalmente por mezcla de almidones y harinas refinadas. Esta



**Figura 2.** Apariencia general de la formulación optimizada de pan libre de gluten y procesamiento de las imágenes para la obtención del volumen y uniformidad alveolar de la miga.



investigación se presenta como una alternativa a la industria de panadería sin gluten, donde se muestra una posibilidad de desarrollar estos productos para un grupo de la población con necesidades especiales como los celíacos, o bien a intolerantes a la lactosa y huevo ya que estos ingredientes no fueron utilizados en nuestro producto.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET y a la Secretaria de Ciencia y Tecnología - SeCyT, por el apoyo financiero. Al ICyTAC, al ICTA por permitirnos usar las instalaciones, equipos y reactivos; y al Laboratorio Diseño Integrado Biomédico – DIBio por el préstamo del escáner láser.

## BIBLIOGRAFIA

- Vaquero L., Alvarez-Cuenllas B., Rodríguez-Martín L., Aparicio M., Jorquera F., Olcoz J. y Vivas S. Revisión de las patologías relacionadas con la ingesta de gluten. *Nutr Hosp.*, 2015; 31(6): 2359-2371.
- Biesiekierski J. What is gluten?. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 2017; 32 (Suppl. 1): 78–81.
- Cobos-Quevedo OJ, Hernández-Hernández GA, Remes-Troche JM. Trastornos relacionados con el gluten: panorama actual. *Med Int Méx.*, 2017; 33(4): 487-502.
- Papageorgiou M, Skendi A. Texture design of “free-from” foods—The case of gluten-free. En: Chen J, Rosenthal A, editores. *Modifying Food Texture*. Amsterdam, Países bajos: Elsevier; 2015. p. 239-268.
- Cúneo F, Ortega JG. Disponibilidad, costo y valor nutricional de los alimentos libres de gluten en comercios de la ciudad de Santa Fe. *Revista FABICIB*, 2012; 16: 167-178.
- Sáez LR. Enfermedad celíaca. *Inf Ter Sist Nac Salud*, 2010; 34: 49-59.
- Asociación Celíacos de Madrid. Todo sobre la enfermedad celíaca. España: Consejería de Sanidad y Consumo [Internet]. Madrid: Asociación Celíacos de Madrid; S.f. [citado el 28 de marzo de 2018]. Recuperado a partir de: <http://www.celiacosburgos.org/adftp/Todo%20sobre%20la%20enfermedad%20celiaca.pdf>
- Catassi C, Gatti S, Fasano A. The New Epidemiology of Celiac Disease. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, 2014; 59 (1): 7–9.
- Rafaelli C, Poggio N, Neglia V, Rodríguez Estoup MV, Osorio González G, Buonsante EM, Luján Pestalardo M, Bistoletti R, Abeldaño A y Viudez P. Prevalencia de la enfermedad celíaca en los pacientes con psoriasis. *Dermatología Argentina*, 2017; 23 (1): 23-28.
- Salazar-Quero JC, Espín Jaime B, Rodríguez Martínez A., Argüelles Martín F, García Jiménez R., Rubio Murillo M., Pizarro Martín A. Nutritional assessment of gluten-free diet. Is gluten-free diet deficient in some nutrient?. *An Pediatr (Barc)*, 2015; 83(1):33-39.

11. Machado NM, Joy SC, Dutra AI, Carvalho DE, Andre BH. Addition of quinoa and amaranth flour in gluten-free breads: Temporal profile and instrumental analysis. *LWT - Food Sci Technol*, 2015; 62: 1011-1018.
12. Herranz B, Canet W, Jiménez MJ, Fuentes R, Alvarez MD. Characterisation of chickpea flour-based gluten-free batters and muffins with added biopolymers: rheological, physical and sensory properties. *Int J Food Sci Technol*, 2016; 51: 1087-1098.
13. Nozawa M, Ito S, Arai E. Effect of ovalbumin on the quality of gluten-free rice flour bread made with soymilk. *LWT - Food Sci Technol*, 2016; 66: 598-605.
14. Buresova I, Kubínek R. The behavior of amaranth, chickpea, millet, corn, quinoa, buckwheat and rice doughs under shear oscillatory and uniaxial elongational tests simulating proving and baking. *J Texture Stud*, 2016; 47: 423-431.
15. Hager AS, Arend EK. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. *Food Hydrocoll*, 2013; 32: 195-203.
16. Maradini-Filho A. Quinoa: Nutritional Aspects. *Journal of Nutraceuticals and Food Science*, 2017; 2 (1): 1-5.
17. Mera KM, Espinoza NN, Galdames GR, Aguilera PA, García DJ, Montenegro BA, et al. Lupino dulce y amargo: producción en Chile [Internet]. Santiago de Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias; 2016 [citado el 28 de marzo de 2018]. Boletín INIA N° 326. (2016). Recuperado a partir de: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40479.pdf>
18. Kohajdová Z, Karovičová J, Schmidt S. Lupin Composition and Possible Use in Bakery— A Review. *Czech J Food Sci*, 2011; 29 (3): 203-211.
19. Cervilla NS, Miranda Villa PP. Harina integral. En: Grasso, F (editor). *Aprovechamiento integral del grano de quinoa: aspectos tecnológicos, fisicoquímicos, nutricionales y sensoriales*. Córdoba, Argentina: UNC; 2017. p. 71-98. Recuperado a partir de: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1846/Aprovechamiento%20%20integral%20del%20%20grano%20de%20quinoa.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
20. Dal Bello LH, Vieira AF. Optimization of a product performance using mixture experiments including process variables. *J Appl Stat*, 2011; 38 (8): 1701-1715.
21. AOAC Internacional. *Oficial Methods of Analysis of the Association of Official Analysis Chemist*. Gaithersburg, USA: AOAC; 1999.
22. Alaiz M, Navarro JL, Girón J, Vioque E. Amino acid analysis by high-performance liquid chromatography after derivatization with diethyl ethoxymethylenemalonate. *J Chromatogr A*, 1992; 591: 181-186.
23. Sciarini LS, Ribotta PD, León AL, Pérez GT. Influence of Gluten-free Flours and their Mixtures on Batter Properties and Bread Quality. *Food Bioprocess Technol*, 2010; 3: 577-585.
24. Ribotta PD, Pérez GT, Añón MC, León AE. Optimization of additive combination for improved soy-wheat bread quality. *Food and Bioprocess Technol*, 2010; 3 (3): 395-405.
25. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW. *InfoStat* [Internet]. Córdoba: Grupo InfoStat/ Universidad Nacional de Córdoba; 2014 [citado el 28 de marzo de 2018]. Recuperado a partir de: <http://www.infostat.com.ar>
26. Flach GM, Danelli D, Marchi de melo L, Hickmann FS, Vogt de Jong E. Nutritional and technological evaluation of bread made with quinoa flakes (*Chenopodium quinoa* willd). *J Food Process Preserv*, 2015; 41: 1-8.
27. Elgeti D, Nordlohne S, Föste M, Besl M, Linden MH, Heinz V, et al. Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour. *J Cereal Sci*, 2014; 59: 41-47.
28. Wang S, Opassathavorn A, Zhu F. Influence of quinoa flour on quality characteristics of cookie, bread and chinese steamed bread. *J Texture Stud*, 2015; 46: 281-292.