

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN EN HARINA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) NORMAL Y GERMINADA

EXTRUSION PROCESS EFFECT EVALUATION ON NORMAL AND GERMINATED FLOUR QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd)

AVALIAÇÃO DO EFEITO DO PROCESSO DE EXTRUSÃO NA FARINHA DE QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd) NORMAL E GERMINADA

CRISTHIAN EMILIO TOVAR-HERNÁNDEZ¹, EDGAR ALBERTO PERAFÁN-GIL², MARIO GERMAN ENRÍQUEZ-COLLAZOS³, YAMID PISMAG-PORTILLA⁴, LORENA CERON- FERNANDEZ⁵

RESUMEN

*Las semillas germinadas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) presentan diferencias en su valor nutricional y asimilación en el organismo respecto a las semillas normales, por esto, se buscó identificar el efecto del proceso de extrusión sobre harina de quinua normal y germinada. Para ello se les realizó análisis proximal, curvas de empastamiento, índice de solubilidad de agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA). Posteriormente las harinas fueron extruidas y se les realizó análisis proximal, ISA e IAA. Se identificó que la germinación generó cambios*

Recibido para evaluación: 27 de abril de 2016. **Aprobado para publicación:** 21 de marzo de 2017.

- 1 Universidad Cooperativa de Colombia. Ingeniero de alimentos. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad Cooperativa de Colombia. Ingeniero de alimentos. Popayán, Colombia.
- 3 Universidad del Cauca, Grupo de Investigación Aprovechamiento de Subproductos Agroindustriales. Magister en Ingeniería de Alimentos. Popayán, Colombia.
- 4 Universidad del Cauca, Grupo de Investigación Innovaciones Agroindustriales con Proyección Social. Magister en Ingeniería de alimentos. Popayán, Colombia.
- 5 Universidad Cooperativa de Colombia, Grupo de Investigación de Ingeniería Aplicada. Magister en Ciencias Agrarias. Popayán, Colombia

Correspondencia: menriquez@unicauca.edu.co

en el contenido de proteína (15,06 g/100 g de muestra a 15,74 g/100 g de muestra), en las propiedades de gelificación, en el ISA e IAA. Se identificaron diferencias significativas en la composición de las harinas debidas al proceso de extrusión aplicado, siendo más notable en la harina germinada, así como en el IAA e ISA (2,5274 g gel/g M.S. en harina de quinua normal e incrementó a 5,8761 g gel/g M. S. en la harina de quinua extruida. Así mismo, en harina de quinua germinada sin extruir fue de 2,5829 g gel/g M.S., aumentó a 5,4197 g gel/g M.S. en harina de quinua germinada extruida).

ABSTRACT

Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) germinated seeds shows nutritional value and body assimilation differences respect to normal seeds, therefore, sought to identify the extrusion process effect over flour from normal and germinated quinoa. Proximal analysis, pasting curves, Water Absorption Index (WAI) and Water Solubility Index (WSI). After extrusion process, proximal analysis, WAI and WSI performed to flours. Changes in germinated flour was found respect to normal flour like protein increase (15,06 g/100 g sample to 15,74 g/100 g sample), gelation properties, WAI and WSI variations. Significant differences was found on germinated flour due to extrusion process applied, over WSI and WAI (2,5274 g gel/g D.M. in normal quinoa flour increased to 5,8761 g gel/g D.M. in extruded quinoa flour. Thus, 2,5829 g gel/g D.M. for no extruded germinated quinoa flour, increased to 5,4197 g gel/g D.M. for extruded germinated quinoa flour).

RESUMO

As sementes germinadas de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) apresentam diferenças no seu valor nutricional e fácil assimilação no organismo com relação às sementes normais. De acordo com isso, buscou-se identificar o efeito do processo da extrusão na farinha de quinua normal e germinada. Para isso, foi feito análise proximal, curvas de gelificação, índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA). Além disso, as farinhas foram estruídas, em seguida, foi feito a análise proximal, a ISA e a IAA das farinhas. Conseguiu-se identificar que germinação gerou alterações na composição como aumento do teor da proteína (15,06 g/100 g de amostra a 15,74 g/100 g de amostra), variação nas propriedades de gelificação, na ISA e na IAA. Assim mesmo, o processo de extrusão aplicado gerou alterações na composição das farinhas sendo mais notável na farinha germinada, e na ISA e na IAA (2,5274 g gel/g M.S. na farinha da quinua normal e aumentou para 5,8761 g gel/g M.S. na farinha da quinua estruída. Do mesmo modo, na farinha da quinua germinada sem extruir foi de 2,5829 g gel/g M.S., acrescentou para 5,4197 g gel/g M.S. na farinha da quinua germinada estruída).

PALABRAS CLAVE:

Alimento, Germinados, Proceso, Precocidos, Semillas.

KEYWORDS:

Food, Germinated, Process, Precooked, Seeds.

PALAVRAS-CHAVE:

Alimento, Farinha, Germinados, Processo, Pré-cozinhados, Semente

INTRODUCCIÓN

La desnutrición a nivel mundial ha alcanzado niveles muy elevados pues se considera que aproximadamente 15,5% de la población sufre este flagelo siendo la tercera parte población infantil [1]. Diferentes organizaciones se han conformado con la finalidad de controlar el problema de seguridad alimentaria en el que se ven afectadas muchas personas, especialmente niños y niñas menores de seis años, los cuales son más vulnerables a sufrir enfermedades e infecciones por deficiencias nutricionales debido a que se encuentran en un estado de continuo desarrollo y crecimiento y necesitan una alimentación balanceada acorde a sus necesidades [1, 2].

En la actualidad, la producción de alimentos altamente nutritivos se ha incrementado de manera acelerada y se han llevado a cabo estudios en los que se emplean diferentes métodos de procesamiento y gran variedad de materias primas, presentándose como alternativas para controlar los problemas de seguridad alimentaria de la población [1, 2].

De ahí que es importante destacar que en los últimos tiempos la demanda de cereales precocidos se ha incrementado notablemente [2, 3]. Los productos obtenidos se consumen en forma de bebidas en polvo, sopas instantáneas, harinas compuestas y enriquecidas, snacks, bases para cremas, papillas, entre otros., empleando cereales como avena, arroz y maíz, siendo este último el cereal más utilizado para este tipo de productos. Sin embargo, existe el interés de incorporar nuevos productos que contengan diversas fuentes de legumbres para mejorar las propiedades nutricionales [4, 5].

Entre las razones que pueden mencionarse para explicar dicho aumento en el consumo, se destacan la revalorización de los cereales como alimento y las exigencias en el comportamiento del consumidor que lo llevan a preferir alimentos de calidad y con mayor valor agregado. El ahorro de tiempo y la comodidad junto con la variedad en sabores, tamaño, texturas, valor nutricional, entre otros, son características que el consumidor moderno reconoce en los productos alimenticios precocidos y por las cuales está dispuesto a pagar el mayor valor que estos productos tienen respecto a los alimentos tradicionales a base de cereales [6]. Una alternativa considerada ha sido la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) la cual es un pseudocereal rico en proteínas y carbohidratos, cultivada por muchos años en América, siendo uno de los

alimentos más característicos de Sudamérica por su composición nutricional y la facilidad de adaptación a los diferentes climas de los países andinos [7,8].

Una manera de incrementar la composición nutricional de granos y semillas es la germinación, la cual puede aumentar considerablemente los nutrientes, además que es una práctica de bajo costo y fácil realización. Investigaciones realizadas han demostrado que los nutrientes son aprovechados de una manera efectiva por su fácil asimilación y su alta digestibilidad [9].

Procurando brindar nuevas opciones para la obtención de alimentos instantáneos con calidad nutricional aceptable, en esta investigación se evaluaron los efectos del proceso de extrusión sobre los componentes nutricionales y características fisicoquímicas de harinas procedentes de quinua normal y de quinua germinada, mediante la evaluación de propiedades fisicoquímicas de cada una y sus cambios luego de realizar el proceso de extrusión de éstas. Para ello a cada harina le fue realizada análisis proximal, curvas de empastamiento, índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA). Posteriormente cada harina fue extruida con dos contenidos de humedad obteniéndose harinas precocidas que fueron sometidas nuevamente a análisis proximal, IAA e ISA para finalmente determinar los cambios en las propiedades de las harinas debidas al proceso de extrusión aplicado.

MÉTODO

Equipos

El proceso de extrusión se desarrolló en un extrusor de tornillo simple compacto, marca Haake PolyLab OS, Alemania, el cual consta de un tornillo sin fin de 475 mm de longitud (L) y 19 mm de diámetro (D) siendo la relación L/D 25:1. El barril del extrusor posee tres zonas independientes de calentamiento y/o enfriamiento. La relación de compresión del tornillo fue de 5:1. Para la obtención de las curvas de empastamiento se utilizó un reómetro marca TA Instruments modelo 1500 EX. Estos equipos se encuentran en el Laboratorio de Reología y Empaques de la Universidad del Cauca.

Análisis Proximal

Este constó de cinco pruebas las cuales se relacionan a continuación y se indica la norma en la que se basó el procedimiento aplicado:

- Determinación de humedad, norma GTC 1.
- Determinación de cenizas, norma ISO 2171
- Determinación de proteína, norma ISO 1871.
- Determinación de lípidos y fibra bruta, Norma Técnica Colombiana NTC 668.
- Los análisis proximales fueron desarrollados por Laboratorios Ángel, Cali, Colombia.

Proceso de extrusión

Se desarrolló en el Laboratorio de Reología y Empaques de la Universidad del Cauca. Se procedió a realizar pruebas preliminares empleando perfiles de temperatura y porcentajes de humedad similares a los reportados en otros estudios [10, 11]. Posterior a la realización de las pruebas, se determinó un perfil de temperatura de 96°C - 115°C - 111°C - 100°C (dado) y dos contenidos de humedad (20 g agua/100 g muestra y 30 g agua/100 g muestra). Se utilizaron muestras de 500 g de cada tipo de harina.

Curvas de empastamiento

Se obtuvieron curvas de empastamiento para los dos tipos de harina de quinua, con el fin de determinar los cambios en la temperatura de gelatinización y en la viscosidad final del gel formado debido al proceso de la germinación. Se utilizó un reómetro rotacional equipado con una celda de empastamiento para almidones. El procedimiento aplicado consistió en pesar 25 g en base seca de harina de quinua normal o harina germinada, los cuales se dispersaron en 25 mL de agua destilada; se agitó la mezcla y se introdujo en la celda de análisis del equipo. A continuación se llevó a cabo una etapa de acondicionamiento a una temperatura de 50°C durante un tiempo de 30 s con una velocidad angular de la geometría de 78,53 rad/seg. Posteriormente, se inició una rampa de calentamiento a 12,2°C/min hasta que la muestra alcanzó 90°C y se mantuvo constante durante un tiempo de 2,3 min. A continuación se ejecutó una rampa de enfriamiento a 12,2°C/min hasta que la temperatura de la muestra fue de 50°C; se mantuvo constante ésta temperatura durante 2 min y finalmente se redujo la temperatura hasta 30 °C, momento en el que terminó la prueba.

Índice de absorción de agua (IAA) e índice solubilidad en agua (ISA)

Se secaron 12 tubos falcón para centrifuga en una estufa (Fisher Scientific) a 60 °C por 2 h hasta alcanzar un peso estable, una vez obtenidos estos datos se pesó en cada tubo una muestra representativa de cada harina, para el caso 1,25 g, a esta cantidad se le agregaron 30 mL de agua destilada precalentada a 60°C durante 30 min y la suspensión se agitó luego de 10 min de iniciado el calentamiento, pasado este tiempo, las muestras fueron centrifugadas a 4000 rpm en una centrifuga (Max 6T especial) a temperatura ambiente durante 30 min; una vez obtenido el precipitado (gel) y el sobrenadante, este último se decantó después de centrifugar y el volumen fue medido en una probeta. Del sobrenadante de cada una de las muestras se tomaron 10 mL, se depositaron en un vaso de precipitados previamente lavado y seco y se llevaron a la estufa durante 24 horas a una temperatura de 70°C hasta evidenciar la formación de insolubles. El gel formado en los tubos fue pesado y lo mismo se hizo con los insolubles contenidos en los vasos de precipitados. Esta prueba se desarrolló en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad del Cauca.

Diseño experimental y Análisis estadístico

Para el proceso de extrusión se aplicó un diseño factorial 2² en el cual los factores evaluados fueron el tipo de harina de quinua (quinua normal QN y quinua germinada QG) y el contenido de humedad de la harina (H1, H2). Para las pruebas de ISA e IAA se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro bloques evaluados cada uno por triplicado (Harina de Quinua Normal HQN, Harina de Quinua Normal Extruida HQNE, Harina de Quinua Germinada HQG, Harina de Quinua Germinada Extruida HQGE). Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS versión 17 para obtener el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey a los resultados obtenidos en el proceso de extrusión y en la determinación del IAA e ISA de las harinas.

RESULTADOS

Composición proximal harina de quinua normal y germinada

Se evidenció que la harina de quinua germinada presentó mayor contenido nutricional y energético en

comparación a la harina de quinua normal (Cuadro 1). De acuerdo con los resultados, se determinó que el proceso germinativo incrementó el valor nutricional de la harina, por lo tanto la germinación puede considerarse como un proceso en el que se brindan beneficios nutricionales a los granos.

Extrusión

De acuerdo con los datos obtenidos una vez se finalizó el proceso de extrusión, se observó que para las harinas normal y germinada el torque del tornillo inicialmente se incrementó hasta un momento en el que luego disminuyó, esto a medida que la harina pasaba por los diferentes perfiles de temperatura. De acuerdo a lo reportado en otro estudio [12] en este caso a medida que la temperatura se incrementa, el comportamiento de las proteínas es secundario, siendo la gelatinización del almidón el principal responsable de las variaciones del torque. Durante esta etapa, los gránulos de almidón absorben el agua disponible en el medio y se hinchan, mientras que las cadenas de amilosa se lixivian en la fase acuosa intergranular, promoviendo el incremento en la viscosidad y, por consiguiente, el aumento en el torque. Esto sucede hasta que el esfuerzo de corte mecánico y la temperatura programada en el extrusor producen el rompimiento físico de los gránulos, los cuales, se asocian con una reducción en la viscosidad y por ende en una disminución en el torque [13].

Por otro lado, los resultados obtenidos indicaron que para las muestras de harina de quinua normal y germinada con contenido de humedad de 30 g agua/100 g materia seca, el torque fue menor que en las muestras que contenían 20 g agua/100 g materia seca. Esto se debe a que cuando el contenido de agua es mayor en la harina ésta varía sus propiedades viscoelásticas

Cuadro 1. Análisis proximal harina de quinua variedad piartal normal (sin germinar, HNQ) y germinada (HQG).

Análisis	HQN Contenido (g/100 g muestra seca)	HQG Contenido (g/100 g muestra seca)
Proteína	18,5819	19,6801
Grasa	4,3398	4,5264
Cenizas	1,5892	1,7835
Fibra cruda	2,4694	2,2878
Carbohidratos	79,86	82,6814

debido a que las moléculas de agua ocupan mayores espacios entre las partículas de harina, por lo que se necesita menos fuerza para moldearla, procesarla o gelatinizarla [14].

Se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) para el torque y se identificó que los factores humedad y tratamiento tuvieron efecto sobre éste. Los resultados arrojados en la prueba de Tukey (Cuadro 2) realizada para la harina de quinua, presentó la división en cuatro grupos, lo que quiere decir que hubo diferencias significativas entre todos los tratamientos, siendo la harina de quinua germinada con contenido de humedad de 30 g agua/100 g harina la muestra en la que el torque fue representando menor gasto de energía.

Análisis proximal

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis proximales, hubo disminución de los porcentajes de humedad a consecuencia de la extrusión con respecto a las harinas de quinua normal y germinada sin extruir (Cuadro 3).

Esto se presenta como consecuencia de la humedad de la materia prima y la temperatura final alcanzada durante el proceso de extrusión (105°C) [15]. Es importante destacar que la humedad es un factor suficiente para deteriorar las harinas extruidas con cierta rapidez, ya que la humedad deseable para productos extruidos como harinas precocidas debe estar entre 1- 2% [16].

Con respecto al contenido de proteínas, se pudo observar que los porcentajes obtenidos en las harinas extruidas disminuyeron con respecto a los reportados en las harinas

Cuadro 2. Resultados de la prueba de Tukey para torque en la extrusión de harina de quinua.

Tratamiento	Subconjunto
HQG 30%	6,4889 ^a ± 0,2317
HQN 30%	12,5556 ^b ± 0,3528
HQG 20%	14,0333 ^c ± 0,2588
HQN 20%	15,9333 ^d ± 0,3571

HQG 30%: Harina de quinua germinada con 30 % de humedad HQN

30%: Harina de quinua normal con 30 % de humedad HQG 20%:

harina de quinua germinada con 20 % de humedad HQN 20%: harina de quinua germinada con 20 % de humedad

Cuadro 3. Análisis proximal de harina de quinua normal extruida (HQNE) y harina de quinua germinada extruida (HQGE)

Análisis	HQNE Contenido (g/100 g muestra seca)	HQGE Contenido (g/100 g muestra seca)
Proteína	18,3434	19,1998
Grasa	4,2509	2,7445
Cenizas	2,4725	3,1837
Fibra cruda	2,5091	2,4640
Carbohidratos	73,8367	67,5530

normales. Por otro lado, la disminución del contenido de grasa en las harinas después del proceso de extrusión, pudo deberse a la temperatura y la velocidad de tornillo empleadas en el extrusor lo cual probablemente ocasionó la degradación de los lípidos. De igual forma, los ácidos grasos presentes en el material pueden formar complejos con la amilosa, haciendo que su extracción sea más difícil [17], lo cual podría ser la causa del descenso en el contenido de grasa.

Por otra parte, para alimentos con bajo contenido de carbohidratos complejos, el proceso de extrusión no afecta el contenido de fibra (como en los cereales), pero cuando el contenido de carbohidratos complejos es alto (leguminosas), la extrusión puede aumentar el contenido de fibra cruda [18]. Las harinas de quinua normal y germinada extruidas contenían cantidades considerables de grasa, proteínas y carbohidratos así como de fibra cruda.

Durante el proceso de extrusión, el almidón sufre una degradación molecular por la temperatura, humedad y velocidad del tornillo del extrusor [19]. Así, las condiciones aplicadas en esta investigación pudieron haber logrado una degradación de este componente, obteniéndose materiales de menor peso molecular, tales como las dextrinas. Asimismo, se ha sugerido que el descenso en el contenido de carbohidratos en los procesos de extrusión, se debe a reacciones de transglucosidación, las cuales generan enlaces glucosídicos atípicos que no son reconocidos por las enzimas amilolíticas [20]. Otra posible explicación puede ser la interacción proteína-almidón; se ha observado en maíz extruido, que los gránulos se encuentran incrustados en la matriz proteica (glutelinas), y en los cuerpos

proteicos (zeínas). Adicionalmente, considerando que una característica de la amilosa es su capacidad de interactuar con los lípidos, se puede inferir que en el material extruido pudiera haber la presencia de estos complejos, los cuales se someten a un ordenamiento conformacional de espiral a hélice, haciéndolos estables térmicamente e insolubles, razón por la cual, es posible que se redujera la disponibilidad de almidón y en consecuencia la cantidad de carbohidratos en las harinas de quinua normal y germinada [18].

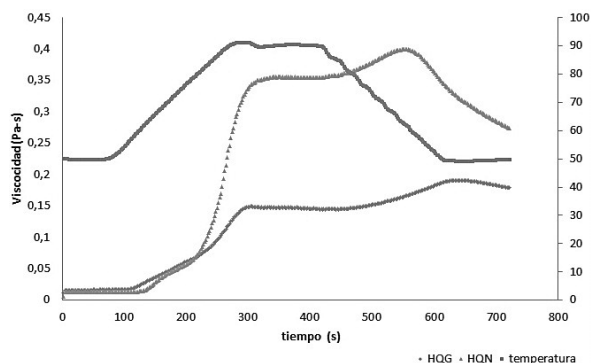
Curvas de empastamiento

Luego de realizar las curvas de empastamiento de la harina de quinua normal y de la harina de quinua germinada, se obtuvieron dos picos de viscosidad máxima diferentes para cada una de las muestras evaluadas. A medida que la temperatura se incrementó, los gránulos de almidón absorbieron el agua disponible en el medio y se hincharon, mientras que las cadenas de amilosa se lixiviaron en la fase acuosa intergranular, promoviendo el incremento en la viscosidad. Esto sucede hasta que el esfuerzo de corte mecánico y la temperatura programada en el equipo producen el rompimiento físico de los gránulos, los cuales, se asocian con una reducción en la viscosidad [21]. En la Figura 1 se observan las curvas de empastamiento obtenidas para la harina de quinua normal y la harina de quinua germinada.

Los picos de viscosidad obtenidos en las curvas de empastamiento de la harina de quinua normal (HQN)

Figura 1. Curvas de empastamiento de harina de quinua germinada (HQG) y de harina de quinua normal (HQN).

HQN: Harina de quinua normal



HQNE: Harina de quinua normal extruida HQG: Harina de quinua germinada
 HQGE: harina de quinua germinada extruida

fueron superiores respecto a los obtenidos para la harina de quinua germinada (HQG). Podría indicarse que el proceso de germinación influyó en la variación de esta propiedad, quizá debido a que la germinación incrementó el contenido de proteínas de la muestra y causando cambios en la disponibilidad de amilosa de la harina; estudios han reportado que cuanto mayor sea el contenido de amilosa de la muestra, mayor será su viscosidad máxima [22, 23].

Índice de absorción de agua (IAA)

Los valores de IAA de las harinas de quinua normal y germinada extruidas fueron superiores que los IAA de las harinas normales (Cuadro 4), presentándose diferencias significativas ($P < 0,05$) lo que coincide con lo descrito en otros estudios [24, 25]. La prueba de Tukey generó tres subconjuntos indicando que la harina de quinua normal extruida (HQNE) fue el tratamiento con mayor valor es esta propiedad. Otra investigación argumenta que la temperatura de cocción incrementa el IAA de diferentes granos [26]. La desnaturalización de proteínas, la gelatinización del almidón e hinchamiento de la fibra cruda, que ocurren durante la extrusión, podrían ser responsables del incremento de IAA de productos extruidos [22, 27].

Índice de solubilidad en agua (ISA)

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 e indica también el grado de cocción que ha tenido el grano con que se preparó la harina [23]. El ISA está asociado con la presencia de moléculas de almidón solubles, lo cual se relaciona con la dextrinización [23]. La condición del grano, fresco o endurecido, y el proceso DSE (descascarillado, suavizado, extruido) afecta este indicador funcional. Hubo diferencias significativas ($P < 0,05$) en los valores de ISA entre las harinas de quinua sin extruir y las harinas extruidas (Cuadro 4). La prueba de Tukey arrojó dos subconjuntos: en el primero se ubicaron los dos tratamientos de harinas sin extruir y en el segundo los tratamientos de harinas extruidas en los cuales es notable el incremento en esta propiedad para las muestras extruidas. De acuerdo con lo anterior los resultados de ISA obtenidos en la prueba no coinciden con las muestras extruidas reportadas en otros estudios, esto se debe quizá a las condiciones de la extrusión y a las condiciones en las que se obtuvieron los resultados de las otras investigaciones (Cuadro 5x). Otros Investigadores aplicaron

Cuadro 4. Valores de IAA e ISA obtenidos para las harinas de quinua estudiadas.

Muestra	IAA (peso gel/ peso muestra)	ISA (%)
HQN	2,5274 ^a ± 0,326	5,8779 ^a ± 0,0985
HQNE	5,8761 ^c ± 0,2197	14,9842 ^b ± 0,3695
HQG	2,5829 ^a ± 0,1836	5,5841 ^a ± 0,1478
HQGE	5,4197 ^b ± 0,2409	16,6843 ^b ± 0,1754

Cuadro 5. Contenido de humedad, IAA e ISA de materias primas farináceas.

Harina	Humedad (%)	IAA (peso gel/ peso muestra)	ISA (%)
TRIGO	12,57 ± 0,28	1,92 ± 0,06	2,09 ± 0,26
PAPA	12,03 ± 0,19	4,48 ± 0,11	7,45 ± 0,72
QUINUA	12,47 ± 0,12	2,31 ± 0,08	5,10 ± 0,12

Fuente. [27]

una temperatura de 32°C, con 20%, 25% y 26% de humedad en harinas extruidas de garbanzo y encontraron valores de 21,2, 18,8, y 16,15 g sólidos/g sólidos originales, respectivamente [25]. Sugirieron que este comportamiento es causado por degradación de almidón, debido a la presión de corte sobre éste durante la extrusión.

CONCLUSIONES

El proceso de germinación de la quinua generó cambios en su composición nutricional lo cual se determinó en el análisis proximal el cual permitió determinar incrementos en el contenido de agua, proteína, lípidos y cenizas.

El proceso de extrusión afectó el valor nutricional de las harinas de quinua normal y germinada, notándose disminución en los contenidos de proteína, carbohidratos y grasa, siendo más notable en la harina germinada por lo cual podría decirse que la germinación genera menor estabilidad térmica en el grano. Caso contrario sucedió con la fibra la cual se incrementó en las dos muestras luego del proceso de extrusión.

Las harinas de estudiadas presentaron diferencias en sus curvas de empastamiento observándose valores de viscosidad inferiores en la harina de quinua germinada respecto a la harina de quinua normal, indicando

que las harinas extruidas de grano germinado son menos aptas para el desarrollo de productos en los que se requiere la formación de gel.

El índice de absorción de agua (ISA) de las harinas incrementó luego de la extrusión, indicando que las dos harinas son adecuadas para el desarrollo de productos instantáneos con respecto a las harinas sin extruir, siendo la harina de grano normal más apta para el desarrollo de formulaciones instantáneas.

REFERENCIAS

- [1] CARVALHO-BARRETO, G., VANDERLEI, F., MARQUES-VANDERLEI, L. and MADEIRO-LEITE, A. Impact of malnutrition on cardiac autonomic modulation in children. *Journal de Pediatría*, 92, 6, 2016, p. 638–644.
- [2] SUMMO, C., CENTOMANI, I., PARADISO, V., CAPONIO, F. and PASQUALONE, A. The effects of the type of cereal on the chemical and textural properties and on the consumer acceptance of pre-cooked, legume-based products. *LWT – Food Sciences and Technology* (Accepted manuscript), 2015.
- [3] PRESCHA, A., ZABLOCKA-SLOWINSKA, K., HOJKA, A. and GRAJETA, H. Instant food products as a source of silicon. *Food Chemistry*, 135, 2012, p. 1756–1761.
- [4] WOJTOWICZ, A. and MOSCICKI, L. Influence of legume type and addition level on quality characteristics, texture and microstructure of enriched precooked pasta. *LWT – Food Science and Technology*, 59, 2014, p. 1175–1185.
- [5] CARBONARO, M., MASELLI, P. and NUCARA, A. Structural aspects of legume proteins and nutritional properties. *Food Research International*, 76, 2015, p. 19–30.
- [6] BISHARAT, G.I., OIKONOMOPOULOU, V.P., PANAGIOTOU, N.M., KROKIDA, M.K. and MAROULIS, Z.B. Effects of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food Research International*, 53, 2013, p. 1–14.
- [7] NAVRUZ-VARLI, S. and SANLIER, N. Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Sciences*, 69, 2016, p. 371–376.
- [8] RAMOS-DIAZ, M., SUURONEN, J.P., DEEGAN, K., TUORILA, H., SERIMAA, R. and JOUPPILA, K. Physical and sensory characteristics of corn-based extruded snacks containing amaranth, quinoa and kañiwa flour. *LWT – Food Science and Technology*, 64, 2015, p. 1047–1056.
- [9] VALENZUELA-ANTEZANA, R., MITA-TICONA, G., ZAPANA-YUCRA, F., QUILLA-CAYLLAHUA, D., MIRANDA-ALEJO, R. y MITA-CHURQUI, U. Efecto de la germinación y cocción en las propiedades nutricionales de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista Investigaciones Altoandinas*, 17, 2, 2015, p. 169–172.
- [10] MÉNDEZ, A., MARTÍNEZ, F., VÉLES, J., MORENO, C., DEL RÍO, J. y MORENO, E. Efecto de la adición de ácido cítrico sobre la degradación de las aflatoxinas y las propiedades funcionales de productos extrudados de sorgo. *Interciencia*, 34(4), 2009, p. 252–258.
- [11] REYES, C., MILÁN, J., ROUZAUD, O., GARZÓN, J. y MORA, R. Descascarillado/ suavización/ extrusión (dse): alternativa tecnológica para mejorar la calidad nutricional del garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Agrociencia*, 36, 2002, p. 181–189.
- [12] RODRIGUEZ, E., LASCANO, A. y SANDOVAL, G. Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinua y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *Revista UDCA Actualidad y divulgación científica*, 15(1), 2012, p.199–207.
- [13] D'AMICO, S., MÄSCHLE, J., JEKLE, M., TÔMÔSKÖZI, S., LANGÓ, B. and SCHOENLECHNER, R. Effect of high temperature drying in gluten-free pasta properties. *LWT – Food Science and Technology*, 63, 2015, p. 391–399.
- [14] PITTS, K., FAVARO, J., AUSTIN, P. and DAY, L. Co-effect of salt and sugar in extrusión processing, rheology, structure, and fracture mechanical properties of wheat-cornblended. *Journal of Food Engineering*, 127, 2014, p. 58–66.
- [15] PADRÓN-PEREIRA, C.A., OROPEZA-GONZALEZ, R.A. y MONTES-HERNANDEZ, A.I. Semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): composición química y procesamiento. Aspectos relacionados con otras áreas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 2, 2014, p. 166–218.
- [16] REPO-CARRASCO, R., PILO, J.J. y ENCINA-ZELADA, C.R. Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y maíz (*Zea mays* L.). *Ingeniería Industrial*, 29, 2011, p. 209–224.
- [17] TAE-RANG, S., JONG-YEA, K. and SEUNG-TAIK, L. Preparation and characterization of crystalline complexes between amylose and C18 fatty acids. *LWT – Food, Science and Technology*, 64 (2), 2015, p. 889–897.

- [18] ARCILA, J., WEIER, S. and ROSE, D. Changes in dietary fiber fractions and gut microbial fermentation properties of wheat bran after extrusion and bread making. *Food research International*, 74, 2015, p. 217–223.
- [19] WITCZAK, M., ZIOBRO, R., JUSZCZAK, L. and KORUS, J. Starch and starch derivatives in gluten-free systems – A review. *Journal of Cereal Sciences* (Article in press), 2015, p. 1-12.
- [20] TOVAR, J., MELITO, C., HERRERA, E., LAURENTÍN, A. and PÉREZ, E. Starch modification from a nutritional point of view. *Agro-Food Industry Hi-Tech*, 10, 1999, p. 27-30.
- [21] SINGH-SANDHU, K., SHARMA, L. and KAUR. Effect of granular size on physicochemical, morphological, thermal and pasting properties of native and 2-octenyl-1-ylsuccinylated potato starch prepared by dry heating under different pH conditions. *LWT –Food, Science and Technology*, 61, 2015, p. 224–230.
- [22] HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers*, 45, 2001, p. 253-567.
- [23] CERÓN-FERNANDEZ, L., GUERRA- MORCILLO, V., LEGARDA-QUINTERO, J., ENRÍQUEZ-COLLAZOS, M. y PISMAG-PORTILLAS, Y. Efecto de la extrusión sobre las características físico-químicas de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14, 2, 2016, p. 92-99.
- [24] JIMENEZ-CADENA, J. y ACUÑA-GORDILLO, W. Diseño del proceso de extrusión para la elaboración de un suplemento nutricional con base en la mezcla amaranto, quinua, chocho y avena [Tesis Ingeniería Química]. Quito (Ecuador): Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, 2013.
- [25] KOWALSKI, R., MEDINA-MEZA, G., THAPA, B., MURPHY, K. and GANJYAL, G. Extrusion processing characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) var. Cherry Vanilla. *Journal of Cereal Science*, 70, 2016, p. 91-98.
- [26] CONTRERAS-JIMENEZ, B., MORALES-SANCHEZ, E., REYES-VEGA, M.L. y GAYTAN-MARTINEZ, M. Propiedades funcionales de harinas de maíz nixtamalizado obtenidas por extrusión a baja temperatura. *CyTA Journal of Food*, 12(3), 2014, p. 263–270.
- [27] GONZÁLEZ, R.J., TORRES, R.L., DE GREEF, D.M., GORDON, N.A. y VELOCI, M.E. Influencia de las condiciones de extrusión en las características de la harina de maíz para elaborar sopas instantáneas. *Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 31(1), 1991, p. 87-96.