



Revista Iberoamericana de Tecnología  
Postcosecha

ISSN: 1665-0204

rebasa@hmo.megared.net.mx

Asociación Iberoamericana de  
Tecnología Postcosecha, S.C.  
México

Vásquez, Francisco; Verdú, Samuel; Islas, Alma R.; Barat, José M.; Grau, Raúl  
EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO CON HARINA DE QUINOA  
(Chenopodium quinoa) SOBRE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LA MASA Y  
TEXTURALES DEL PAN

Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 17, núm. 2, 2016, pp. 307-317  
Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C.  
Hermosillo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81349041018>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## EFFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO CON HARINA DE QUINOA (*Chenopodium quinoa*) SOBRE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LA MASA Y TEXTURALES DEL PAN

Francisco Vásquez<sup>\*1,2</sup>, Samuel Verdú<sup>1</sup>, Alma R. Islas<sup>2</sup>, José M. Barat<sup>1</sup>, Raúl Grau<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia, 46022, Valencia, España.

<sup>2</sup>Departamento de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., CP 83304, Hermosillo, Sonora, México. \*Autor para correspondencia: E-mail: fvas@ciad.mx

*Palabras clave: harina trigo, harina quinoa, sustitución, propiedades reológicas, propiedades texturales.*

### RESUMEN

La utilización de harinas compuestas ha sido fundamental en la elaboración de productos con mayores propiedades nutrimentales. Las materias primas utilizadas como suplemento normalmente son de origen animal o vegetal que son capaces de proporcionar nutrientes que son deficientes en el alimento tradicional. Pan, pastas, galletas, tortillas, atoles o sopas, son con frecuencia productos donde se puede llevar a cabo la utilización de harinas compuestas. En este caso particular, se elaboró pan con harina de trigo (HT) sustituida con harina de quinoa (HQ) en porcentajes de 2.5, 5, 7.5 y 10. Se realizó el análisis químico y color de las harinas, así como la capacidad de retención de agua (CRA) y perfil de viscosidad. En masas, se determinó la fuerza (Newton, N) y la capacidad fermentativa, mientras que en el pan se analizó el perfil de textura. Los resultados mostraron incrementos en el % de proteína a medida que se incrementó el nivel de sustitución. En lo que respecta al perfil de viscosidad no se observaron cambios entre la HT y las mezclas de harinas obtenidas con HQ cuando se analizó la temperatura de empaste, sin embargo, la viscosidad pico y final si mostraron cambios con respecto a HT obteniéndose valores más altos en las mezclas de harinas preparadas con la sustitución de HQ. El perfil de textura mostró panes más blandos que el elaborado solo de HT cuando esta fue sustituida con HQ al 5 y 7.5%. La utilización de HQ en la sustitución de HT en productos de panificación presenta una opción de uso, altos valores de proteína son presentados en este pseudocereal que posee un balance de aminoácidos esenciales (lisina) muy importante, además del contenido de grasas en su mayoría insaturadas destacándose la presencia de ácidos omega 6 y omega 3.

### EFFECT OF SUBSTITUTION OF WHEAT FLOUR WITH QUINOA FLOUR (*Chenopodium quinoa*) ON DOUGH RHEOLOGICAL AND TEXTURAL BREAD PROPERTIES

*Key words: wheat flour, quinoa flour, substitution, rheological properties, textural properties.*

### ABSTRACT

The use of composite flours has been fundamental in the development of products with higher nutritional properties. The raw materials used typically as supplements are of animal or vegetable origin that are capable of providing nutrients that are deficient in traditional foods. Bread, pasta, cookies, tortillas, atoles or soups, are products which can include composite flours in their formulations. In this study, bread was prepared with wheat flour (HT) substituted by quinoa flour (HQ) in percentages of 2.5, 5, 7.5 and 10. Chemical analysis, color, water retention capacity (CRA), and viscosity profile were performed in the flours. Dough strength (Newton, N) and fermentative capacity were also determined, while in bread the texture profile analysis was carried out. The results showed increases in the % protein as the level of substitution increased. Regarding the viscosity profile, no changes on the pasting temperatures between HT and the mixes containing HQ were observed, however, the peak and final viscosity showed higher values in the mixes prepared with HQ. The texture profile analysis showed softer breads when HT was replaced with 5 and 7.5% HQ. The HQ is a good option for substituting HT in bakery products, high protein values are provided by this pseudocereal and good balance of essential amino acids (lysine), in addition to fat mainly unsaturated, highlighting the presence of omega-6 and omega-3 fatty acids.

## **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de tecnologías de transformación de granos que favorecen de manera considerable la elaboración de una gran cantidad de productos que aportan propiedades benéficas para la salud, ha generado un incremento importante en la elaboración de productos de harina de trigo sustituidas con harinas obtenidas de otros granos, ya que estos pueden aportar componentes como fibra, proteínas, aceites esenciales y componentes bioactivos derivados de la transformación propia de estos granos enteros.

La FAO define a las harinas compuestas como aquellas mezclas elaboradas para producir alimentos a base de trigo, como pan, pastas y galletas. Estas harinas pueden prepararse a base de otros cereales diferentes al trigo o de otras fuentes de origen vegetal, y pueden o no contener harina de trigo. Las condiciones generales de procesamiento y el producto final obtenido puede ser comparable a los elaborados solo de trigo, pero también pueden presentar diferencias, entre ellas las características reológicas (Elías, 1999).

En muchos países, el consumo de pan está incrementando continuamente y en la mayoría de estos la elaboración del pan y productos derivados de trigo ha generado la necesidad de importar este grano, dado que la producción interna no es suficiente, ya sea por condiciones climáticas y/o de suelo que no permiten el crecimiento del grano adecuadamente o representa dificultades para su desarrollo. Por esta razón es que surge la necesidad de reemplazar el trigo con otras harinas obtenidas en las propias regiones (Seibel, 2006). Sin embargo, además de lo anterior y los altos costos del trigo regido por mercados internacionales son puntos a considerar cuando utilizamos este cereal en la producción de pan y sus derivados, lo que nos hace buscar alternativas en la utilización de otros cereales para elaborar productos más accesibles o de menor costo a la población.

Dentro de estas harinas vegetales empleadas en la sustitución de harina de trigo con la finalidad de mejorar las características nutrimentales, organolépticas e incluso bajar los costos de producción se encuentran principalmente las harinas de granos de sorgo, mijo, avena, centeno, triticale, arroz, amaranto, tapioca, cebada, gluten de maíz, harinas de germen de maíz desgrasado y harinas de maíz germinado, entre otras (Chavan et al., 1993).

Pero la sustitución de la harina de trigo por otras, puede generar cambios importantes a considerar. Se ha observado que la sustitución de harina de trigo disminuye la elasticidad de la masa. Es por ello que sustituciones de 10 a 20% de harina de trigo han demostrado producir pan de calidad aceptable sin un impacto importante en el color, estructura de la miga, textura y vida de anaquel (Seibel, 2006; Mepba et al., 2007). Estudios realizados por Falade y Akingbala (2008), al elaborar pan con harinas compuestas de 10% de casava y 90% de trigo observaron un comportamiento muy favorable con respecto al pan elaborado solamente de harina de trigo. Aunque el gluten, componente muy importante en panificación, sufre una dilución por sustitución, muchas de las harinas alternativas tienen propiedades que complementan al gluten (Ohimain, 2015).

Así, el objetivo planteado es el estudio del uso de mezclas binarias de harinas de trigo sustituidas parcialmente con harina de quinoa. El estudio se centró en evaluar diferentes grados de sustitución de harina de trigo y su efecto sobre las masas y panes elaborados con ellas, sin la adición de mejorantes panarios, con la finalidad de establecer conocimientos en aras a posibles modificaciones del proceso que mejoren, en su caso, las características panarias de estas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Materias primas**

La harina de trigo (HT) utilizada para este

estudio fue obtenida de un productor local (Molí de Picó Harinas Segura S.L. Valencia, España). La harina de quinoa (HQ) fue adquirida de una tienda local (La Carabasseta, Valencia, España). Además para la realización de la panificación se utilizó aceite de girasol (acidez máxima 0.2º Koipesol Semillas, S.L. España), levadura (*Saccharomyces cerevisiae*, Lesafre Ibérica, S.A. España), azúcar blanca ( $\geq 99.8\%$  of sacarosa, Azucarera Ebro, S.L. España) y NaCl (sal marina refinada  $\geq 97\%$  NaCl, Salinera Española. S.A. España), todas ellas compradas en una tienda local. Las formulaciones binarias que se evaluaron se basaron en la mezcla de la HQ con la HT en las proporciones siguientes: 2.5/97.5, 5/95, 7.5/92.5 y 10/90 (peso/peso), respectivamente.

#### **Análisis en harinas**

**Composición química.** Los porcentajes de humedad, proteína, grasa cruda y ceniza fueron determinadas por los métodos siguientes: 44-40, 46-13, 30-20 y 08-01 (AACC, 1995), respectivamente, siendo los carbohidratos calculados por diferencia del sumatorio de los anteriores con el 100%.

**Determinación de color.** Se realizó con el Colorímetro Konica Minolta (Modelo Chroma Meter CR-400, Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japón). Los parámetros evaluados pertenecientes al espacio cromático CIE  $L^*a^*b^*$  fueron los siguientes:  $L^*$  (Luminosidad),  $a^*$  (variación de rojo a verde) y  $b^*$  (variación de amarillo a azul) (Gilbert, 2002). También se obtuvieron los valores de Hue (tono) y croma.

**Capacidad de retención de agua (CRA).** La capacidad de retención de agua se realizó en base al método 56-11 (AACC, 2000). Se colocaron 5 g de harina  $\pm 0.05$  g en un tubo de 50 mL (Nalgene Centrifuge Ware) a la cual se le añadieron 25 g de agua  $\pm 0.05$  g. La mezcla fue agitada vigorosamente por 5 s para hacer

suspender la harina. Las muestras se mantuvieron 20 min en agitación intermitente a los 5, 10, 15 y 20 min seguida de centrifugación por 15 min a 1000 x g (Centrifuge Beckman Coulter Allegra X-30R, Brea, California, USA) a temperatura ambiente (25°C). El sobrenadante fue descartado y el pellet húmedo fue decantado por 10 min para finalmente ser pesado. Los cálculos se realizaron de acuerdo a Haynes et al., (2009).

#### **Análisis de viscosidad: Rapid Visco Analyser**

**(RVA).** El perfil de viscosidad de las harinas fue obtenido de acuerdo al método 76-21 (AACC, 2000). La HT y las mezclas de la HT con HQ fueron analizadas en base a 3.5 g  $\pm 0.01$  g de muestra ajustadas al 14% de humedad. La cantidad de agua a incorporar fue de 25 g  $\pm 0.01$  g resultado del propio ajuste al que se llevó a las harinas (Shittu et al., 2007). Para esta determinación se utilizó el viscosímetro RVA (Rapid Visco Analyser Super 4, Newport Scientific Australia). Mediante el software Thermocline del RVA se seleccionó el perfil de la prueba (estándar 1) que fue de una temperatura inicial de 50°C y 960 rpm, disminuyendo la velocidad a 160 rpm a los 10 s. Al minuto, la temperatura se mantuvo en 50°C para aumentar hasta 95°C a los 4.42 min, manteniéndose así hasta los 7.42 min. A los 11 min la temperatura bajó a 50°C hasta terminar la prueba a los 13 min.

#### **Análisis en masas**

**Determinación de fuerza (F).** La masa utilizada para llevar a cabo la medición de fuerza (F) se obtuvo a partir del Mixógrafo (National Mfg. Co. Lincoln, NE, USA), esta masa se colocó en una plataforma ranurada y sobre esta se colocó otra plataforma sin ranuras, prensándose por aproximadamente 30 s para formar las tiras de masas las cuales se introdujeron en una estufa (Laboratory Oven, Cole Parmer, Modelo 05015-50, Niles, Illinois) a 30°C por 45 min (Ktenioudaki et al., 2013). Al cabo de este tiempo se realizó la medición de

F a una velocidad de prueba de  $3.3 \text{ mms}^{-1}$ . La medición de F se llevó a cabo siguiendo la técnica descrita por Kieffer et al., (1998), utilizando un texturómetro (TA-XT2, SMS/Kieffer dough extensibility Rig Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, England). El texturómetro se calibró con una pesa de 5 kg y una velocidad de prueba de 3.3 mm/s.

**Capacidad fermentativa.** Como medida de la capacidad fermentativa se midió el volumen de la masa después de una hora de fermentación. Para llevar a cabo la medición del volumen se tomaron 70 g de la masa que se colocaron en un tubo cilíndrico graduado de vidrio (Soleimani Pour-Damanab et al., 2011) (5.5 cm de diámetro y 15.5 cm de alto), el cual se introdujo a la cámara de fermentación (Modelo KBF720 Binder, Tuttlingen, Alemania) con humedad relativa y temperatura controlada (90% HR y  $40^{\circ}\text{C}$ ) por una hora. Mediante el registro del volumen inicial de la masa y el obtenido a la hora de fermentación se calculó la capacidad de la masa para ser fermentada.

#### Análisis en pan

**Perfil de textura (TPA).** Para realizar esta medición se cortó la miga en cilindros de 4 cm de alto y diámetro de 3.1 cm. Se empleó el texturómetro TA-XT Plus (Texture Analyser Stable Micro Systems, Surrey, UK). Se utilizó la celda de carga de 25 kg con el dispositivo TA-40 (40 mm de diámetro). La velocidad del ensayo fue de 1.7 mm/s para comprimir la miga el 50% de su altura. El tiempo entre las compresiones fue de 5 s. Los parámetros

obtenidos fueron: dureza, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia (Verdú et al., 2015).

#### Análisis estadístico

Los resultados se analizaron aplicando un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Para discriminar entre las medias se utilizó el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. El Análisis estadístico se llevó a cabo con el programa Statgraphics Centurion XVI con un nivel de confianza del 95%.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Análisis en harinas

**Composición química.** La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos en el análisis químico, se observan incrementos en el % de proteína, grasa y ceniza a medida que se incrementó el nivel de sustitución de la HT, por el contrario la diferencia en carbohidratos tiende a disminuir.

**Determinación de color.** La Tabla 2 muestra los valores de color de las harinas. Al compararlos con los obtenidos de la HT, se observan valores menores de  $L^*$  al incrementar a 10% la sustitución con HQ, un comportamiento contrario a éste fueron los parámetro  $b^*$  y croma, mientras que  $a^*$  mantiene valores semejantes al sustituir la HT al 5, 7.5 y 10% con HQ. En lo que respecta al valor de croma y Hue estos fueron menores cuando se determinaron en HT.

**Tabla 1. Composición química de la HT y de las harinas obtenidas de la sustitución de la HT con HQ al 2.5, 5, 7.5 y 10%.**

Harina	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasas (%)	Ceniza(%)	Carbohidratos (%)
Trigo	13.09	12.7	1	0.39	72.82
HT: HQ 2.5%	13.05	12.73	1.12	0.43	72.67
HT: HQ 5%	13.02	12.77	1.23	0.47	72.51
HT: HQ 7.5%	12.98	12.80	1.35	0.5	72.37
HT: HQ 10%	12.95	12.84	1.47	0.54	72.2

HT= harina de trigo; HQ= harina de quinoa.

Tabla 2. Resultados de color de la HT y de las harinas obtenidas de la sustitución de la HT con HQ al 2.5, 5, 7.5 y 10%.

Harina	L*	a*	b*	Croma	Hue
Trigo	95.94 ± 0.17 c	4.58 ± 0.03 c	2.76 ± 0.09 a	5.37 ± 0.02 a	31.46 ± 0.52 a
HT: HQ 2.5%	94.91 ± 0.27 b	4.52 ± 0.04 b	3.47 ± 0.12 b	5.69 ± 0.10 bc	37.47 ± 0.80 b
HT: HQ 5%	94.88 ± 0.06 ab	4.44 ± 0.05 a	3.44 ± 0.03 b	5.63 ± 0.05 b	37.81 ± 0.25 b
HT: HQ 7.5%	94.75 ± 0.15 ab	4.44 ± 0.02 a	3.65 ± 0.14 c	5.75 ± 0.11 c	40.57 ± 0.76 d
HT: HQ 10%	94.65 ± 0.14 a	4.44 ± 0.03 a	3.68 ± 0.03 c	5.77 ± 0.04 c	39.67 ± 0.21 c

HT= harina de trigo; HQ= harina de quinoa. Medias con la misma letra dentro de la columna no son diferentes significativamente ( $p \geq 0.05$ ).

**Capacidad de retención de agua (CRA).** La CRA se refiere a la capacidad que tienen los alimentos o sus componentes a retener agua bajo ciertas condiciones (Labuza and Busk, 1979). En harinas, esta propiedad es usada para determinar su calidad y habilidad para formar una masa visco elástica, la cual es esencial en la industria de los alimentos ya que determina las propiedades funcionales de las masas. La Figura 1 muestra la CRA de las diferentes harinas, cuando se analizó HT ( $69.03 \pm 0.2$ ) se observó el valor más alto en este parámetro, sin embargo, al llevar a cabo el análisis en el resto de las harinas, en las cuales se realizó la sustitución de HT con HQ, estas mostraron diferencias significativas con respecto a HT. La sustitución que más afectó este parámetro fue cuando se utilizó HQ al 7.5% ( $67.29 \pm 0.28$ ).

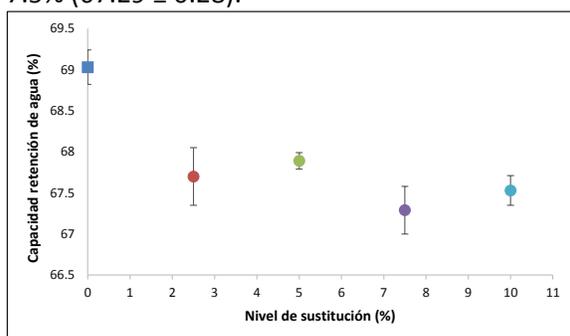


Figura 1. Capacidad de retención de agua de la HT (■) y de las harinas obtenidas de la sustitución de HT al 2.5 (●), 5 (●), 7.5 (●) y 10% (●) con HQ.

Resultados obtenidos por Berton et al., (2002) determinaron la importancia del nivel de molienda de las harinas de trigo y la CRA, donde un mayor grado de molienda se traduce

en un tamaño de partícula más pequeño y una mayor capacidad de retención de agua. Sin embargo, hay que considerar la composición química de las harinas ya que durante la molienda una parte de los gránulos de almidón se dañan parcialmente lo que permite la penetración del agua y el ataque enzimático, así la cantidad mayor de almidón dañado va a generar un aumento en la absorción de agua. El gránulo de almidón puede absorber entre 39 y 87% de agua en peso (Larsen, 1964; Rasper, 1980), mientras que el almidón dañado entre 200 y 430% (Bushuk, 1966; Bushuk, 1964), pentosanas entre 500 y 1500% (Jelaca, 1971) y proteínas entre 114 y 215% (Larsen, 1964; Bushuk, 1966). Así pues a cierto nivel de daño las propiedades mecánicas de la masa pueden verse afectadas de forma negativa.

**Análisis de viscosidad: Rapid Visco Analyser (RVA).** La Figura 2 muestra el perfil de viscosidad de cada una de las harinas estudiadas. En lo que respecta a la temperatura de empaste (pasting temperature, 2A) no se observaron diferencias significativas entre la HT y las diferentes mezclas conteniendo HQ, el valor más bajo de este parámetro fue obtenido cuando la sustitución se realizó al 5% con HQ ( $67.22^{\circ}\text{C} \pm 1.8$ ). La temperatura de empaste nos da una idea de la temperatura mínima requerida para la transformación en pasta de la muestra. Puede tener implicaciones para la estabilidad de otros componentes en una fórmula y también en los costos de energía. Estos valores

se ven afectados por las características propias de los cereales y la interacción con el agua, además de la temperatura y tiempo de la prueba. En el análisis de la viscosidad pico (peak viscosity, 2B) se apreciaron diferencias significativas, siendo el valor obtenido en HT (2245 cP  $\pm$  15.55) el menor, mientras que el valor mayor fue observado cuando la sustitución se realizó al 2.5 con HQ (2584.5 cP  $\pm$  9.19). Las sustituciones del 5, 7.5 y 10% con HQ no mostraron diferencias entre ellas. La viscosidad pico nos indica la capacidad de retención de agua del almidón o de la mezcla. Es frecuentemente correlacionada con la calidad del producto final y también nos proporciona una indicación de la viscosidad probable de una mezcla. La viscosidad pico puede alcanzarse antes de que se llegue a la temperatura máxima, o puede no ocurrir hasta después de alcanzar dicha temperatura. Aquellas muestras que llegan a la viscosidad máxima antes de la temperatura máxima son almidones que muestran un rápido hinchamiento de sus gránulos. La viscosidad pico se relaciona con una combinación del grado de hinchamiento de los gránulos y la velocidad de rompimiento. Los gránulos que tienen un alto poder de hinchamiento también tienden a tener una alta viscosidad. Así, es importante considerar la velocidad de calentamiento ya que esta también tiene un efecto importante sobre la viscosidad pico (Batey, 2000). Estudios realizados por Ferreras (2009), con diferentes fracciones de la molienda del trigo y harina de trigo, obtuvo valores de viscosidad pico de 2298 cP, valor muy cercano al obtenido en nuestro estudio para HT (2245 cP). Otro de los parámetros analizados fue la viscosidad mínima durante el enfriamiento (trough viscosity, 2C), la cual presentó un comportamiento muy semejante a la viscosidad pico, se observó también la disminución de este parámetro a medida que se incrementó el % de sustitución, el valor más bajo fue el registrado por HT (1421.5 cP  $\pm$  4.94), mientras que el valor mayor fue

alcanzado cuando se sustituyó la HT con HQ al 2.5% (1768.5 cP  $\pm$  0.7). Regularmente esta etapa del perfil de viscosidad referida sucede después de haberse alcanzado la viscosidad pico, que por efecto del cizallamiento y temperatura ésta empieza a disminuir debido al rompimiento del gránulo de almidón hasta llegar al punto denominado viscosidad mínima. También fue determinada la viscosidad de ruptura que se presenta por la diferencia existente entre la viscosidad pico y la viscosidad mínima (breakdown viscosity, 2D). La tendencia en esta medición fue de disminuir al incrementar el % de HQ utilizada en la sustitución de HT, se observaron diferencias donde el valor máximo de este parámetro fue observado en HT (823.5 cP  $\pm$  10.6). La viscosidad final (final viscosity, 2E), uno de los parámetros más importantes en este tipo de mediciones también fue registrada. El valor más bajo fue el obtenido cuando se analizó HT (2660 cP  $\pm$  5.65) observándose diferencias importantes con respecto a los obtenidos de la sustitución de HT con HQ, lo anterior fue más evidente cuando fue utilizada la HQ al 2.5% (3146.5 cP  $\pm$  27.57). Finalmente, dentro de los parámetros del RVA se obtuvo la viscosidad de retroceso (setback viscosity, 2F), esto es la viscosidad obtenida de la diferencia entre la viscosidad final y la viscosidad mínima. Se observaron diferencias significativas entre la viscosidad obtenida de la HT (1238.5 cP  $\pm$  10.6) con respecto a la generada por los 4 diferentes % de sustitución de HT con HQ (1378 cP  $\pm$  26.87; 1358 cP  $\pm$  14.14; 1387 cP  $\pm$  1.41 y 1369.5 cP  $\pm$  41.71), respectivamente. La viscosidad final es el parámetro más comúnmente utilizado para definir la calidad de una muestra en particular, ya que indica la capacidad del material para formar una pasta o gel después de la cocción y el enfriamiento y su tendencia a retrogradar. En relación al valor obtenido para HT, estudios realizados por Ferreras (2009) encontraron valores de 2689 cP, muy similar al obtenido en nuestro estudio (2660 cP).

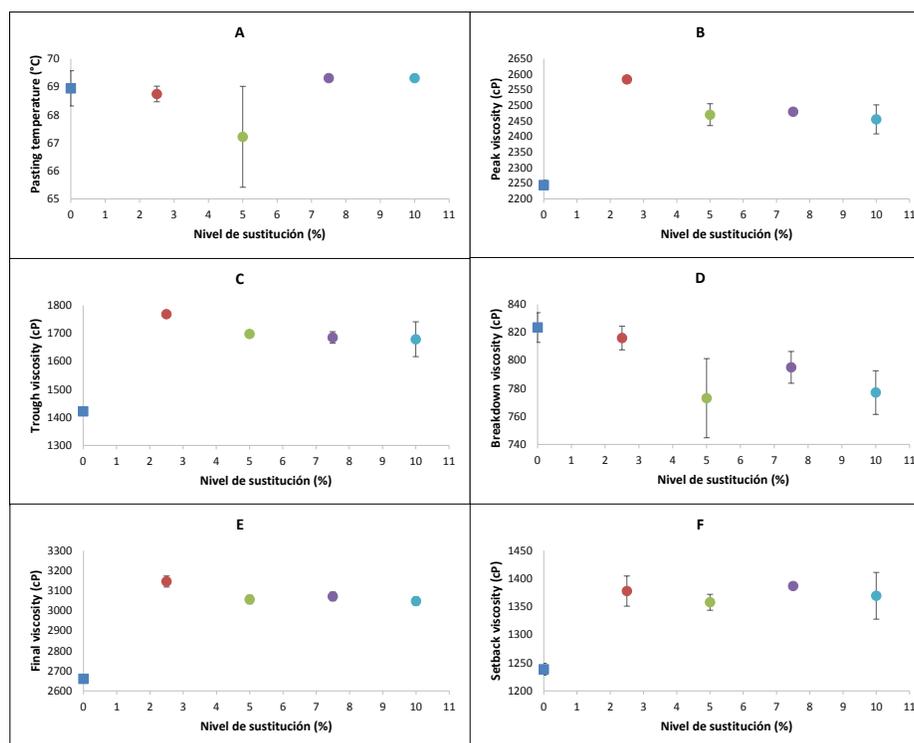


Figura 2. Perfil de viscosidad de la HT (■) y de las harinas obtenidas de la sustitución de HT al 2.5 (●), 5 (●), 7.5 (●) y 10% (●) con HQ.

### Análisis en masas

**Determinación de fuerza (F).** La Figura 3 muestra los resultados obtenidos al realizar la determinación de fuerza de la masa (N). Se observaron diferencias significativas importantes donde los valores alcanzados por la masa generada con la HT ( $0.68 \text{ N} \pm 0.04$ ) fueron los más altos con respecto al resto de las mezclas de HT con HQ en los diferentes niveles de sustitución. La mezcla más afectada fue cuando se utilizó HQ al 2.5% ( $0.29 \text{ N} \pm 0.02$ ), mientras que las sustituciones al 5, 7.5 y 10% mostraron valores muy semejantes entre ellas.

Las propiedades reológicas de las masas son críticas en la manufactura de alimentos (Barak et al., 2013). La masa exhibe un comportamiento visco elástico, combinando las propiedades de un fluido viscoso y un sólido elástico. La combinación de harina, agua y levadura juega un papel muy importante que define la estructura y propiedades reológicas de la masa (Upadhyay et al., 2012).

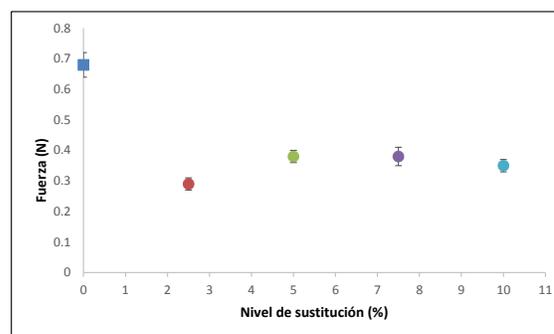
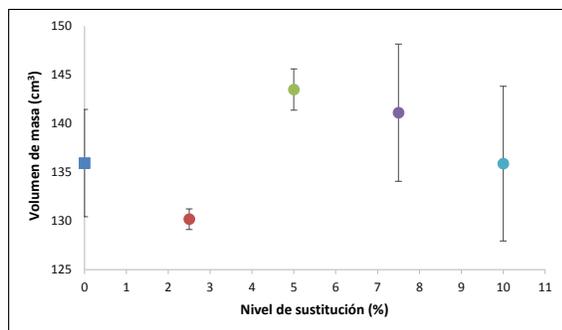


Figura 3. Resultados de fuerza (N) en la masa obtenida de la HT (■) y de las masas generadas por la sustitución de HT al 2.5 (●), 5 (●), 7.5 (●) y 10% (●) con HQ.

**Capacidad fermentativa.** La Figura 4 muestra los volúmenes de fermentación ( $\text{cm}^3$ ) después de 1 h, como medida de la capacidad fermentativa de cada una de las masas generadas por las harinas obtenidas de los diferentes % de sustitución de la HT con la HQ. Para esta medición se observaron diferencias significativas, esto fue más evidente cuando la HT se sustituyó al 5 y 7.5% ( $143.5 \text{ cm}^3 \pm 2.12$  y

141.12 cm<sup>3</sup> ± 7.04, respectivamente) con HQ, incluso los valores obtenidos por estas masas fueron mayores a los obtenidos cuando se analizó la elaborada solamente con HT (135.95 cm<sup>3</sup> ± 5.51). La formación de la masa es uno de los procesos más importantes en la industria de la panificación que puede ser afectada por el contenido de proteína y su calidad, así como por la formación de una matriz proteína-almidón como una membrana celular capaz de estabilizar células de gas en expansión (Bloksma, 1990; Hosney, 1992). El amasado es crucial para el proceso de panificación ya que crea las burbujas iniciales que proporcionan los puntos de nucleación que serán inflados con CO<sub>2</sub> producido durante el proceso de fermentación (Chiotellis y Campbell, 2003). La estructura de una masa fermentada es una dispersión discreta de burbujas en una matriz proteica continua (embebida con gránulos de almidón) en la cual, la visco elasticidad permite que las burbujas se expandan y retengan gas (MacRitchie, 1976; Bloksma, 1990). Diferentes estudios han mostrado que el gas generado en la fermentación no es retenido cuando la masa se encuentra por debajo de contenidos de humedad cercanos al 35% del total del peso de la masa, pero la retención de gas mejora cuando el contenido de agua ésta cercano o por encima del 44% (MacRitchie, 1976).



**Figura 4.** Volumen de la masa obtenida de la HT (■) y de las masas generadas por la sustitución de HT al 2.5 (●), 5 (●), 7.5 (●) y 10% (●) con HQ.

### Análisis en pan

**Perfil de textura (TPA).** Este análisis, es una técnica que trata de utilizar bases comunes para los métodos subjetivos y objetivos empleados para estimar la calidad asociada a la palatabilidad/masticabilidad (Hernández y Duran, 2012). La Figura 5 muestra el perfil de textura de los panes obtenidos con la utilización de la HT y de las harinas obtenidas cuando la HT fue sustituida con HQ en porcentajes de 2.5, 5, 7.5 y 10. Diferencias importantes fueron observadas cuando se determinó la dureza del pan (5A). Se apreciaron diferencias significativas donde el valor más alto fue obtenido con el pan elaborado solo de HT (9.32 N ± 1.03), seguido de la sustitución al 2.5% con HQ (7.12 N ± 0.74). Al incrementar la sustitución se observa como la dureza del pan disminuye considerablemente, obteniéndose los valores más bajos al 5 y 7.5% de sustitución (3.3 N ± 1.11 y 3.28 N ± 0.98), respectivamente. Otro parámetro analizado fue elasticidad (5B), en esta medición no se observaron diferencias significativas. También fue analizada la cohesividad (5C) donde no se apreciaron diferencias entre el pan obtenido de HT y el obtenido al utilizar 2.5% de HQ (0.81 ± 0.01). Incrementos en este parámetro fueron observados cuando se aumentó el % de sustitución de HQ siendo esto más evidente al 7.5% (0.83 ± 0.01). Las mediciones de gomosidad (5D) y masticabilidad (5E) mostraron un comportamiento muy similar entre ellas, incrementos en estos parámetros fueron observados cuando el pan se elaboró de HT (7.56 ± 0.79 y 7.45 ± 0.82), respectivamente. Las tendencias mostradas en estos parámetros cuando se realizó la sustitución con HQ fue a disminuir, esto se pudo apreciar de mejor manera cuando se utilizó HQ al 5% (2.72 ± 0.92 y 2.73 ± 0.91) y 7.5% (2.73 ± 0.81 y 2.75 ± 0.8). Finalmente, se analizó resiliencia (5F) donde se apreció el valor más bajo en el pan obtenido solo de HT (0.44 ± 0.01), al realizar la sustitución con HQ

se observaron incrementos en este parámetro con respecto a HT, esto fue más evidente en las sustituciones de 7.5 y 10% ( $0.47 \pm 0.01$  y  $0.48 \pm 0.01$ , respectivamente) de HQ. La blandura o dureza de la miga es uno de los atributos de textura que más ha llamado la atención, por la percepción de frescura del producto, en este caso pan, que nos brinda una estimación de la calidad del mismo. La textura y la palatabilidad de los productos de panadería son atributos muy importantes que

difieren de un producto a otro. En el caso de la textura de la miga del pan, las propiedades mecánicas como dureza y elasticidad son de las que más interesan y muy frecuentemente se trata de ligar estos parámetros con las características asociadas a la palatabilidad/masticabilidad mediante la adaptación de los más fundamentales métodos físicos de análisis (Hernández y Duran, 2012).

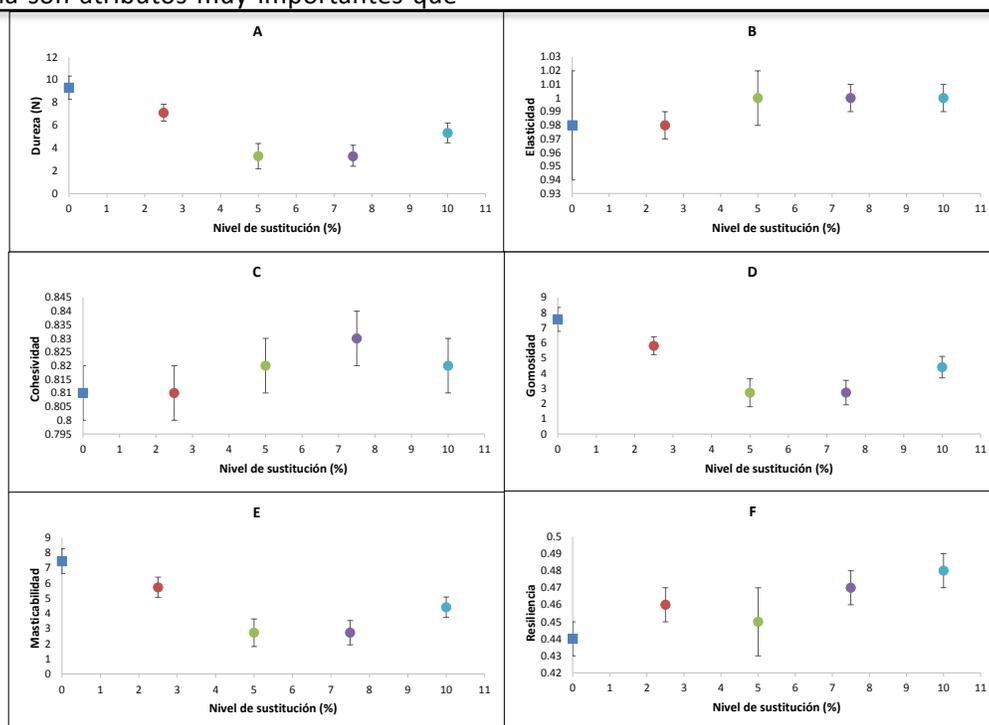


Figura 5. Perfil de textura del pan elaborado con HT (■) y del pan elaborado con las harinas obtenidas de la sustitución de HT al 2.5% (●), 5% (○), 7.5% (●) y 10% (●) con HQ.

## CONCLUSIONES

La sustitución de la harina de trigo por la harina de quinoa debilitó la fuerza de la masa, observándose el mayor decremento en el nivel de sustitución del 2.5%, mientras que las masas elaboradas con el 5 y 7.5 de sustitución no mostraron diferencias significativas en su fuerza. La capacidad fermentativa fue superior en las masas sustituidas con el 5 y 7.5% de harina de quinoa, siendo éstas las que produjeron el pan con menor dureza, atributo deseable en este tipo de producto. De las

mezclas estudiadas, la correspondiente al 7.5% de sustitución de harina de trigo por harina de quinoa fue la que mostró mejores atributos texturales en el pan. La inclusión de harina de quinoa podría contribuir a la elaboración de un pan más completo nutricionalmente.

## REFERENCIAS

- AACC, 1995. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 9<sup>th</sup> Ed. The Association, St. Paul, MN, USA.
- AACC, 2000. Approved Methods of American

- Association of Cereal Chemists. 10<sup>th</sup> Ed. The Association, St. Paul, MN, USA. Methods 56-11, 76-21.
- Barak, S., D. Mudgil and B.S. Khatkar. 2013. Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *LWT-Food Science and Technology* (51) 211-217.
- Batey, I.L. 2000. Interactions of starch with glutens having different glutenin sub-units. In: *Wheat Gluten*. P.R. Shewry and A.S. Tatham, Eds. Royal Society. Pp. 499-502.
- Berton, B., J. Scher, F. Villieras and J. Hardy. 2002. Measurement of hydration capacity of wheat flour: Influence of composition and physical characteristics. *Powder Technology* (128) 326-331.
- Bloksma, A.H. 1990. Dough structure, rheology, and baking quality. *Cereal Foods World* (35) 237-244.
- Bushuk, W. and I. Hilnka. 1964. Water as a constituent of flour, dough, and Bread. *Baker's Dig.* (38) 43-46.
- Bushuk, W. 1966. Distribution of water in dough and bread. *Baker's Dig.* 40 (5) 38-40.
- Chavan, J.K., S.S. Kadam and N. Ramka Reddy. 1993. Nutritional enrichment of bakery products by supplementation with nonwheat flours. *Critical Reviews in Food Science Nutrition* 33(3), 189-226.
- Chiotellis, E. and G.M. Campbell. 2003. Proving of Bread Dough II. Measurement of gas production and retention. *Trans IChemE*, Vol. 81, Part C, 207-216.
- Elías, L.G. 1999. Concepto y Tecnologías para la Elaboración y Uso de Harinas Compuestas. INCAP. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, (502).
- Falade, K.O. and J.O. Akingbala. 2008. Improved nutrition and national development through the utilization of cassava in baked foods. In: Robertson GL, Lupien JR (eds) Chapter 10 from *Using Food Science and Technology to Improve Nutrition and Promote National Development*. International Union of Food Science and Technology.
- Ferreras-Charro, R. 2009. Análisis reológico de las diferentes fracciones de harina obtenidas en la molienda del grano de trigo. Tesis Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad de Salamanca.
- Gilabert, E.J. 2002. Medidas del color. Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Haynes, L.C., A.D. Bettge and L. Slade. 2009. Soft wheat and flour products methods review: Solvent retention capacity equation correction. *AACC International Report* (54) 174-175.
- Hernández, M. and D. Duran. 2012. Características reológicas del pan de agua producto autóctono de pamplona (Norte de Santander). *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas* 10(2): 61-74. Universidad de Pamplona. Colombia.
- Hoseney, R.C. 1992. Physical chemistry of bread dough. In: Schwartzberg, H.G., Hartel, R.W. (Eds.), *Physical Chemistry of Foods*. Marcel Dekker, Inc., New York, USA, Pp. 443-457.
- Jelaca, S.L. and I. Hlynka. 1971. Water-binding capacity of wheat flour crude pentosans and their relation to mixing characteristics of dough. *Cereal Chemistry* (48) 211-222.
- Kieffer, R., H. Wieser, M.H. Henderson and A. Graveland. 1998. Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale. *Journal of Cereal Science* (27) 53-60.
- Ktenioudaki, A., N. O'shea and E. Gallagher. 2013. Rheological properties of wheat dough substituted with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace. *Journal of Food Engineering* (116) 362-368.
- Labuza, T.P. and C.G. Busk. 1979. An analysis of the water binding in gels. *Journal of Food Science* (44) 1379-1385.
- Larsen, R.A. 1964. Hydration as factor in bread quality. *Cereal Chemistry* (41) 181-187.

- MacRitchie, F. 1976. The liquid phase of dough and its role in baking. *Cereal Chemistry* (53) 318-326.
- Mepba, H., L. Eboh and S.U. Nwaojigwa. 2007. Chemical composition, functional and baking properties of wheat-plantain composite flours. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 7 (1) 152-160.
- Ohimain, E.I. 2015. Recent advances in the production of partially substituted wheat and wheatless bread. Review Paper. *European Food Research Technology* (240) 257-271.
- Rasper, V.F. and J.M. De Man. 1980. Measurement of hydration capacity of wheat flour/starch mixtures. *Cereal Chemistry* (57) 27-31.
- Seibel, W. 2006. Composite flours. In *Future of Flour: A Compendium of Flour Improvement*. Popper, L (ed). Verlag AgriMedia, pp. 193-198.
- Shittu, T.A., A.O. Raji and L.O. Sanni. 2007. Bread from composite cassava-wheat flour: I. Effect of baking time and temperature on some physical properties of bread loaf. *Food Research International* (40) 280-290.
- Soleimani Pour-Damanab, A.R., A. Jafary and Sh. Rafiee. 2011. Monitoring the dynamic density of dough during fermentation using digital imaging method. *Journal of Food Engineering* (107) 8-13.
- Upadhyay, R., D. Ghosal and A. Mehra. 2012. Characterization of bread dough: Rheological properties and microstructure. *Journal of Food Engineering* (109) 104-113.
- Verdú, S., F. Vásquez, E. Ivorra, A.J. Sánchez, J.M. Barat and R. Grau. 2015. Physicochemical effects of chia (*Salvia hispánica*) seed flour on each wheat bread-making process phase and product storage. *Journal of Cereal Science* (65) 67-73.
-