

Propiedades de pasta y texturales de las mezclas de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*) en un sistema acuoso

Pasting and textural properties of mixtures of quinoa (*Chenopodium quinoa*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*), and tarwi (*Lupinus mutabilis*) flours in an aqueous system

Julio Mauricio Vidaurre-Ruiz^{1*}, Walter Francisco Salas-Valerio², Ritva Repo-Carrasco-Valencia²

¹Programa Doctoral en Ciencia de Alimentos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

²Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

*Autor para correspondencia, e-mail: vidaurrejm@lamolina.edu.pe

Julio Mauricio Vidaurre-Ruiz: <https://orcid.org/0000-0003-0980-9474>

Walter Francisco Salas-Valerio: <https://orcid.org/0000-0002-3012-0498>

Ritva Repo-Carrasco-Valencia: <https://orcid.org/0000-0002-3656-2377>

ARTÍCULO ORIGINAL

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Artículo recibido: 01/10/2018
Artículo aceptado: 18/12/2018
En línea: 26/02/2019

PALABRA CLAVE:

Mezclas de granos andinos,
quinua,
kiwicha,
tarwi,
diseño de mezclas

ORIGINAL ARTICLE

ARTICLE INFORMATION

Article received: 01/10/2018
Article accepted: 18/12/2018
On line: 26/02/2019

KEYWORD:

Mixtures of andean grains,
quinoa,
kiwicha,
tarwi,
mixture design

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar los efectos de interacción de las harinas de quinua, kiwicha y tarwi en las propiedades de pasta (*viscosidad pico*, *VP*; *viscosidad mínima*, *VM*; *viscosidad de retrogradación*, *VR*; *viscosidad final*, *VF*) y texturales (*firmeza*, *consistencia*, *cohesividad*, *índice de viscosidad*) de los geles formados en un sistema acuoso utilizando el enfoque experimental del diseño de mezclas. Se formularon diez tratamientos, los cuales estuvieron compuestos por 3 ingredientes individuales, 3 mezclas binarias y 4 mezclas ternarias. Los resultados de esta investigación demuestran que la alta capacidad de absorción de agua y la ausencia de almidón de la harina de tarwi afectó significativamente los parámetros de viscosidad de las pastas, así como las propiedades texturales de los geles. La harina de kiwicha presentó mayor perfil de viscosidad (*VP*: 1188.5 cP; *VM*: 932.5 cP; *VF*: 1194.0 cP; *VR*: 261.5 cP), que la harina de quinua (*VP*: 147.5 cP; *VM*: 137.5 cP; *VF*: 336.5 cP; *VR*: 189.0 cP), sin embargo; se evidenciaron efectos no aditivos y no lineales en las propiedades de pasta y texturales de los geles cuando estas harinas se mezclaron en proporciones iguales. Las propiedades de pasta de las mezclas estuvieron altamente correlacionadas con las propiedades texturales de los geles ($r = 0.73-0.92$; $p < 0.05$). Debido a las características reológicas y texturales especiales que pueden presentar las mezclas entre las harinas de quinua con tarwi o las harinas de kiwicha con tarwi resultarían promisorias para el desarrollo de productos de panificación libres de gluten.

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the interaction effects of quinoa, kiwicha and tarwi flours in pasting properties (*peak viscosity*, *VP*; *trough viscosity*, *VM*; *setback viscosity*, *VR*; *final viscosity*, *VF*) and textural properties (*firmness*, *consistency*, *cohesiveness*, *viscosity index*) of the gels formed in an aqueous system using the experimental approach of mixture design. Ten treatments were formulated, which were composed of 3 individual ingredients, 3 binary mixtures, and 4 ternary mixtures. The results of this research show that the high-water absorption capacity and absence of starch from the tarwi flour significantly affected the viscosity parameters of the pastes, as well as the textural properties of the gels. kiwicha flour had a higher viscosity profile (*VP*: 1188.5 cP, *VM*: 932.5 cP, *VF*: 1194.0 cP, *VR*: 261.5 cP), than quinoa flour (*VP*: 147.5 cP, *VM*: 137.5 cP, *VF*: 336.5 cP; *VR*: 189.0 cP), however; non-additive and non-linear effects were observed in pasting and textural properties when these flours were mixed in equal proportions. Pasting properties of mixtures were highly correlated with the textural properties of the gels ($r = 0.73-0.92$, $p < 0.05$). Due to the special rheological and textural characteristics that the mixtures between quinoa with tarwi or kiwicha with tarwi could have, they would be promising for the development of gluten-free bread products.

INTRODUCCIÓN

Los granos andinos como la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y la kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) han atraído la atención de los consumidores debido a que son alimentos prometedores para la elaboración de productos para celíacos; debido a la ausencia de gluten en su composición, alta calidad de sus proteínas, la presencia de abundante cantidad de fibra y presencia de minerales como calcio y hierro (Alvarez-Jubete, Arendt, & Gallagher, 2010; Schoenlechner, Mandala, Kiskini, Kostaropoulos, & Berghofer, 2010). Además, son fuente de compuestos bioactivos como ácidos fenólicos y flavonoides (Repo-Carrasco, Hellström, Pihlava, & Mattila, 2010; Vidaurre-Ruiz, Días-Rojas, Mendoza-Llamo, & Solano-Cornejo, 2017). Otro grano andino que está tomando interés en los consumidores celíacos es el tarwi (*Lupinus mutabilis* S.), el cual es una leguminosa con alto contenido de proteínas y lípidos y es consumido después de la eliminación de los alcaloides (Jacobsen & Mujica, 2006).

En el desarrollo de nuevos productos es importante conocer los efectos de interacción que los ingredientes pueden tener en el producto final. Muchas de las investigaciones realizadas en el ámbito de desarrollo de productos de panificación para celíacos, han evaluado los efectos de las interacciones de las harinas, sustituyendo parcialmente el porcentaje de harina de arroz o almidón de diferentes fuentes por las harinas de granos andinos como quinua y amaranto (Laura Alvarez-Jubete, Auty, Arendt, & Gallagher, 2010; Horstmann, Foschia, & Arendt, 2017; Turkut, Cakmak, Kumcuoglu, & Tavman, 2016; Ziobro, Witczak, Juszczak, & Korus, 2013).

Aunque aún no se ha investigado el efecto de mezclar la harina de quinua, kiwicha y tarwi en la calidad final de los productos de panificación libres de gluten, un primer paso sería entender cómo se comportan estas harinas en sistemas acuosos modelos. Una alternativa

para analizar los efectos de los ingredientes por sí solos y en combinaciones con otros componentes es el diseño de mezclas (Cornell, 2011). Una reciente investigación realizada por Yilmaz et al. (2015), argumentan que entender los efectos de interacción de las harinas en sistemas acuosos es ventajoso para la industria de la panificación porque permite comprender de manera integral lo que puede suceder cuando se mezclan más de dos ingredientes, pudiendo ayudar predecir las características del producto terminado. Es por eso que el objetivo de la presente investigación fue evaluar las propiedades de pasta de las mezclas de harinas de quinua, kiwicha y tarwi y así mismo evaluar las propiedades texturales de los geles formados por estos ingredientes, utilizando el enfoque del diseño de mezclas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Acondicionamiento de las materias primas y caracterización

La presente investigación se realizó durante el periodo de 2017 y 2018 en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Se utilizaron granos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) variedad Pasankalla y kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) variedad Centenario; los cuales fueron proporcionados por el Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los granos de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), variedad Blanco de Yunguyo fueron adquiridos en el Departamento de Cajamarca y se acondicionaron, con el fin de eliminar los alcaloides, de acuerdo con el procedimiento descrito por Jacobsen & Mujica (2006).

Todos los granos se molieron utilizando un molino de martillos (Retsch SR 300, Alemania) y la composición proximal de las harinas se determinó siguiendo los procedimientos de la AOAC (2000).

Diseño experimental

Se utilizó el diseño de mezclas *simplex lattice* y se formularon 10 tratamientos. En la (Tabla 1), se muestran los tratamientos codificados (M1, M2... M10). Los tratamientos estuvieron compuestos por 3 ingredientes individuales (tratamientos M1, M2 y M3), 3 mezclas binarias (tratamientos M4, M5 y M6) y 4 mezclas ternarias (tratamientos M7, M8, M9 y M10).

Tabla 1. Proporciones de los tratamientos formulados de acuerdo con el diseño de mezcla *simplex lattice*

Tratamiento	HQ (%)	HK (%)	HT (%) *
M1	100	0	0
M2	0	100	0
M3	0	0	100
M4	50	50	0
M5	50	0	50
M6	0	50	50
M7	67	17	17
M8	17	67	17
M9	17	17	67
M10	33	33	33

*HQ = Harina de quinua; HK = Harina de kiwicha; HT = Harina de tarwi

Determinación de la capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (% CRA) de los tratamientos se determinó siguiendo el procedimiento descrito por Inglett, Xu, Stevenson, & Chen (2009). Se pesaron 2 g de cada tratamiento y se mezclaron con 25 mL de agua destilada en tubos Falcon de 50 mL de capacidad. Los tubos se agitaron vigorosamente usando un vórtice y se dejaron reposar por 2 horas; luego se centrifugaron a 4500 rpm durante 15 minutos (Centrifuga SL40R, Thermo Fisher Scientific, Germany). Se decantó el sobrenadante y se pesó el precipitado.

Determinación del color de las harinas

El color de los 10 tratamientos se determinó utilizando un espectrofotómetro CM-5 (Minolta Camera Co., Osaka, Japón).

Determinación de las propiedades de pasta

Las propiedades de pasta de los 10 tratamientos fueron determinadas según el método AACC-76-21 (AACC, 2010). Se pesó alrededor de 3.5 g de harina y se dispersó en 25 mL de agua (Relación 1:7). Se utilizó un analizador rápido de viscosidad (RVA) (Pertin RVA 4500, Australia) y se seleccionó el programa de 23 minutos en total; el cual consistió en un ciclo de calentamiento hasta 95°C y enfriamiento a 50°C de la muestra. Mediante la gráfica obtenida se determinaron los valores de: Viscosidad pico (VP), Viscosidad mínima (VM), Viscosidad de retrogradación (VR), Viscosidad final (VF) y la Temperatura de pasta (TP). El análisis se realizó por triplicado para cada formulación.

Determinación de las propiedades texturales

Para determinar las propiedades texturales de los tratamientos, estos, se transformaron en geles, dispersando las harinas en agua en una proporción 1:7. Las mezclas se agitaron y calentaron utilizando un agitador magnético con sistema de calentamiento (MR-Hei Tec, Alemania), simulando el ciclo de calentamiento y enfriamiento que se utilizó para determinar las propiedades de pasta. Los geles formados se enfriaron a temperatura ambiente y luego se almacenaron a 4°C por 24 horas. Las propiedades texturales de los geles fueron determinadas utilizando el accesorio de Back Extrusión del texturómetro universal INSTRON (Modelo 3365, Canton MA, USA), siguiendo el procedimiento descrito por Angioloni & Collar (2009). Una porción de gel se depositó en el cilindro de Back Extrusion (Diámetro 50 mm, altura 70 mm) y se penetró hasta un 30% con un plunger (Diámetro 42 mm) a la velocidad de 1 mm/s y una precarga de 10 gf; finalmente el plunger regresó a su posición original a la misma velocidad. Con los datos obtenidos se determinaron los parámetros texturales de los geles, los cuales fueron: firmeza, consistencia, cohesividad e índice de viscosidad. El análisis se realizó por quintuplicado para cada formulación.

Análisis estadístico

Se utilizó el software Design Expert 7.0 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, USA) para determinar el modelo matemático de mejor ajuste de los resultados experimentales. El análisis de varianza (ANVA), las pruebas de comparación múltiples (Tukey-HSD) y el análisis de correlación de los resultados fueron realizados utilizando el software Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Inc. Virginia, USA).

RESULTADOS

Caracterización de materias primas

La composición proximal de las harinas de quinua, kiwicha y tarwi fueron de 8.0%, 10.2% y 9.9% de humedad, 14.4%, 14.3% y 52.9% de proteína, 5.8%, 7.2% y 21.6% de grasa, 2.3%, 2.6% y 2.8% de ceniza y 7.2%, 2.5% y 8.8% de fibra, y 69.5%, 65.7% y 12.8% de carbohidratos, respectivamente. Las tres harinas presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en sus contenidos de proteína, grasa, fibra y carbohidratos.

%CRA y color de las mezclas

La capacidad de retención de agua de las harinas de quinua, kiwicha y tarwi, así como de sus mezclas binarias y ternarias se muestran en la (Tabla 2); donde se puede apreciar el elevado %CRA, de más de los doscientos porcientos, por parte de la harina de tarwi (M3). Moderados valores de %CRA presentó la harina de kiwicha (M2), seguido por la harina de quinua (M1). Estos valores, afectaron linealmente la capacidad de retención de agua de las mezclas binarias y ternarias, como se muestra en la (Tabla 5).

Con respecto al color de las harinas y sus mezclas, el valor de L^* (blancura) de la harina de tarwi fue mayor que la harina de kiwicha y la harina de quinua; como era de esperarse en las mezclas que contenían

harina de quinua Pasankalla (M1, M4, M7, M8 y M10), predominó el color rojo (a^*); mientras que en mezclas que contenían harina de tarwi (M3, M6 y M9), predominó el color amarillo (b^*). El color de las mezclas se pudo modelar matemáticamente utilizando ecuaciones cuadráticas (Tabla 2).

Tabla 2. Valores medios de capacidad de retención de agua y color de los tratamientos preparados con la mezcla de harina de quinua (HQ), harina kiwicha (HK) y harina de tarwi (HT)

Tratamiento	CRA (%)	L^*	a^*	b^*
M1	68.79 ± 1.7 ^a	60.60 ± 0.2 ^a	2.91 ± 0.1 ^f	9.97 ± 0.1 ^a
M2	95.05 ± 2.3 ^c	66.11 ± 0.2 ^c	1.09 ± 0.0 ^c	11.73 ± 0.1 ^c
M3	222.79 ± 3.9 ^b	68.19 ± 0.1 ^f	-0.56 ± 0.0 ^a	14.92 ± 0.1 ^e
M4	80.51 ± 0.5 ^b	61.38 ± 0.4 ^{abc}	2.59 ± 0.0 ^{ef}	10.73 ± 0.0 ^{ab}
M5	136.53 ± 4.4 ^c	62.09 ± 0.3 ^{abc}	2.10 ± 0.1 ^{de}	11.83 ± 0.1 ^c
M6	161.47 ± 0.5 ^f	67.03 ± 0.2 ^{ef}	0.22 ± 0.0 ^b	13.00 ± 0.6 ^d
M7	95.60 ± 1.4 ^c	61.09 ± 0.2 ^{ab}	2.60 ± 0.0 ^{ef}	10.67 ± 0.1 ^{ab}
M8	107.87 ± 2.6 ^d	62.88 ± 1.4 ^{cd}	1.93 ± 0.6 ^d	11.39 ± 0.7 ^{bc}
M9	176.48 ± 5.7 ^s	64.30 ± 0.5 ^d	0.85 ± 0.1 ^c	13.04 ± 0.1 ^d
M10	130.40 ± 0.3 ^c	62.17 ± 0.1 ^{bc}	1.90 ± 0.0 ^d	11.70 ± 0.0 ^c

^{a-h} Las letras minúsculas diferentes en superíndice muestran diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Propiedades de pasta de las mezclas

La (Tabla 3) muestra los valores promedios de las viscosidades de las formulaciones, cuando fueron dispersas en medio acuoso y sometidas a un ciclo de calentamiento y enfriamiento. En esta tabla se puede apreciar que las propiedades de pasta de las formulaciones fueron afectadas significativamente ($p < 0.05$) por las interacciones entre las harinas. De la misma forma en la (Figura 1), se muestran mediante gráficos de contorno los efectos de las mezclas binarias y ternarias de las harinas de quinua, kiwicha y tarwi sobre los valores de VP, VM, VR y VF.

El mayor valor de VP, o también llamada viscosidad máxima, fue logrado por la harina de kiwicha (1188.5 cP) y el menor valor de VP se manifestó en la harina de tarwi (9.0 cP). Las mezclas binarias (M4, M5 y M6) y ternarias (M7, M8, M9 y M10) manifestaron valores moderados de VP (52.5 – 365.0 cP). La VP de las formulaciones se vieron afectadas significativamente por la inclusión de harina de quinua y harina de tarwi.

La VM siguió un comportamiento similar, siendo la harina de kiwicha (M2) la muestra con mayor VM (932.5 cP); sin embargo, la harina de quinua (M2) presentó un mínimo descenso en el valor de VM (137.5 cP) y esta harina afectó significativamente a las mezclas binarias (M4, 221.0 cP) y ternarias (M7, M8, M9 y M10) que la contenían.

La VF de los tratamientos fue mayor que la VP, siendo la máxima VF lograda por la harina de kiwicha (M2, 1194.0 cP), seguido por la mezcla ternaria (M8, 483.0 cP) y mezcla binaria (M6, 408.5 cP).

Con respecto a la VR, la cual es calculada mediante la resta de la VF y VM, siguió la misma

tendencia antes mencionada, sin embargo, todas las formulaciones presentaron valores de VR muy bajos (27.0 – 261.5 cP), lo cual es muy positivo ya que este parámetro está relacionado a la estabilidad durante el almacenamiento y tiempo de vida del producto final.

Tanto la VP, VM, VF y VR de las mezclas se pudieron modelar matemáticamente utilizando ecuaciones cuadráticas con valores cercanos a la unidad del coeficiente de determinación ($R^2 = 0.98 - 0.99$), lo que demuestra el buen ajuste del modelo predictivo (Tabla 5).

Tabla 3. Valores medios de las propiedades de pasta de las harinas de quinua (HQ), kiwicha (HK), tarwi (HT) y sus mezclas binarias y ternarias

Tratamiento	VP (cP)	VM (cP)	VF (cP)	VR (cP)	TP (°C)
M1	147.50 ± 10.6d	137.50 ± 10.6d	336.50 ± 20.5e	189.00 ± 9.9e	67.73 ± 0.3d
M2	1188.50 ± 4.9h	932.50 ± 3.5h	1194.00 ± 1.4i	261.50 ± 2.1f	61.10 ± 0.0b
M3	9.00 ± 1.4 ^a	6.50 ± 0.7 ^a	13.00 ± 0.0a	6.50 ± 0.7 ^a	0.00 ± 0.0a
M4	221.00 ± 4.2e	221.00 ± 4.2e	355.00 ± 5.7f	134.00 ± 1.4d	63.53 ± 0.0bc
M5	60.00 ± 2.8b	60.00 ± 2.8b	87.00 ± 4.2b	27.00 ± 1.4b	68.33 ± 0.0d
M6	320.00 ± 7.1f	315.50 ± 7.8f	408.50 ± 9.2g	93.00 ± 1.4c	63.53 ± 0.0b
M7	111.50 ± 4.9c	111.50 ± 4.9c	206.50 ± 7.8c	95.00 ± 2.8c	61.48 ± 0.0bcd
M8	365.00 ± 5.7g	352.00 ± 5.7g	483.00 ± 8.5h	131.00 ± 2.8d	65.80 ± 0.9bc
M9	52.50 ± 2.1b	52.00 ± 1.4b	79.50 ± 4.9b	27.50 ± 3.5b	66.38 ± 0.0cd
M10	136.50 ± 4.9d	137.00 ± 4.2d	232.00 ± 5.7d	95.00 ± 1.4c	63.48 ± 0.0bc

^{a-i} Las letras minúsculas diferentes en superíndice muestran diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Propiedades texturales de los geles formados por las mezclas

En la (Tabla 4) se muestran los valores promedios de las propiedades texturales de los geles formados a partir del calentamiento y enfriamiento de las harinas en medio acuoso. Las propiedades texturales de los 10 tratamientos fueron afectadas significativamente por las interacciones de las harinas en estudio. Tal como se puede observar en la (Figura 2), donde se muestran mediante gráficos de contorno los efectos de las mezclas de las harinas de quinua, kiwicha y tarwi sobre la firmeza, consistencia, cohesividad e índice de viscosidad de los geles.

Los geles formados por las harinas de quinua (M1) y kiwicha (M2) obtuvieron los máximos valores de firmeza (0.8 N), consistencia (7.19 N), cohesividad (-0.43 N) e índice de viscosidad (-3.54 N), sin embargo, se evidenciaron efectos antagónicos en la mezcla binaria de harina de quinua con harina de kiwicha (M4) debido a que la firmeza de los geles se redujo hasta en dos veces en todas las propiedades texturales. Por otro parte, la harina de tarwi afectó significativamente ($p < 0.05$) la firmeza, consistencia, cohesividad e índice de viscosidad de los geles, disminuyendo los valores de estas propiedades texturales hasta en 10 veces, como fue el caso de la cohesividad e índice de viscosidad de la mezcla binaria M5 y la formulación ternaria M9.

Las propiedades texturales de los geles se pudieron modelar matemáticamente; todos los modelos seleccionados evidenciaron un excelente ajuste de los valores experimentales con el modelo matemático

seleccionado, evidenciando valores del coeficiente de determinación cercanos a la unidad ($R^2 = 0.93 - 0.99$) (Tabla 5).

Tabla 4. Valores medios de las propiedades texturales de los geles formados por las harinas de quinua (HQ), kiwicha (HK) y tarwi (HT) y sus mezclas binarias y ternarias

Tratamiento	Firmeza (N)	Consistencia (N.s)	Cohesividad (N)	Índice de viscosidad (N.s)
M1	0.80 ± 0.1 ^f	7.19 ± 0.9 ^d	-0.41 ± 0.1 ^a	-3.53 ± 0.3 ^a
M2	0.78 ± 0.1 ^f	7.18 ± 0.7 ^d	-0.43 ± 0.0 ^a	-3.54 ± 0.2 ^a
M3	0.22 ± 0.0 ^{ab}	3.40 ± 0.0 ^{bc}	-0.04 ± 0.0 ^c	-0.11 ± 0.0 ^f
M4	0.37 ± 0.1 ^e	3.49 ± 0.6 ^c	-0.20 ± 0.0 ^b	-1.68 ± 0.1 ^c
M5	0.26 ± 0.0 ^{abc}	2.83 ± 0.3 ^{ab}	-0.10 ± 0.0 ^d	-0.32 ± 0.0 ^{ef}
M6	0.37 ± 0.0 ^e	3.47 ± 0.4 ^c	-0.23 ± 0.0 ^b	-2.33 ± 0.1 ^b
M7	0.31 ± 0.0 ^{cde}	2.96 ± 0.4 ^{abc}	-0.22 ± 0.0 ^b	-2.01 ± 0.3 ^c
M8	0.34 ± 0.0 ^{dc}	3.21 ± 0.3 ^{bc}	-0.17 ± 0.0 ^c	-1.36 ± 0.3 ^d
M9	0.20 ± 0.0 ^a	2.65 ± 0.1 ^a	-0.11 ± 0.0 ^d	-0.51 ± 0.1 ^e
M10	0.27 ± 0.1 ^{bcd}	2.86 ± 0.1 ^{ab}	-0.11 ± 0.0 ^d	-0.43 ± 0.1 ^e

^{a-f} Las letras minúsculas diferentes en superíndice muestran diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Correlación entre las propiedades texturales y las propiedades de pasta

Según el análisis de correlación realizado, todas las propiedades de texturales se correlacionaron significativamente con las propiedades de pasta. En especial la firmeza de los geles se correlacionó

positivamente con la VR ($r = 0.90$; $p < 0.05$) y la VF ($r = 0.73$; $p < 0.05$); la consistencia de los geles se correlacionó con la VR ($r = 0.83$; $p < 0.05$); la cohesividad de los geles se correlacionó con la VR ($r = 0.92$; $p < 0.05$) y la VF ($r = 0.78$; $p < 0.05$) y el índice de viscosidad se correlacionó con la VR ($r = 0.88$; $p < 0.05$) y la VF ($r = 0.74$; $p < 0.05$).

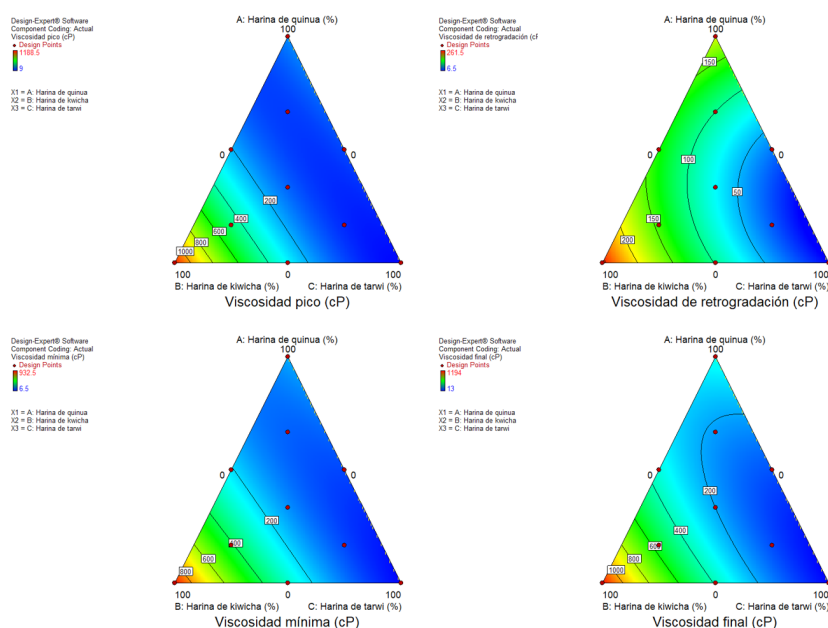


Figura 1. Diagramas de contorno de los efectos de las mezclas de harinas de quinua, kiwicha y tarwi sobre la viscosidad pico (cP), viscosidad mínima (cP), viscosidad de retrogradación (cP) y viscosidad final (cP).

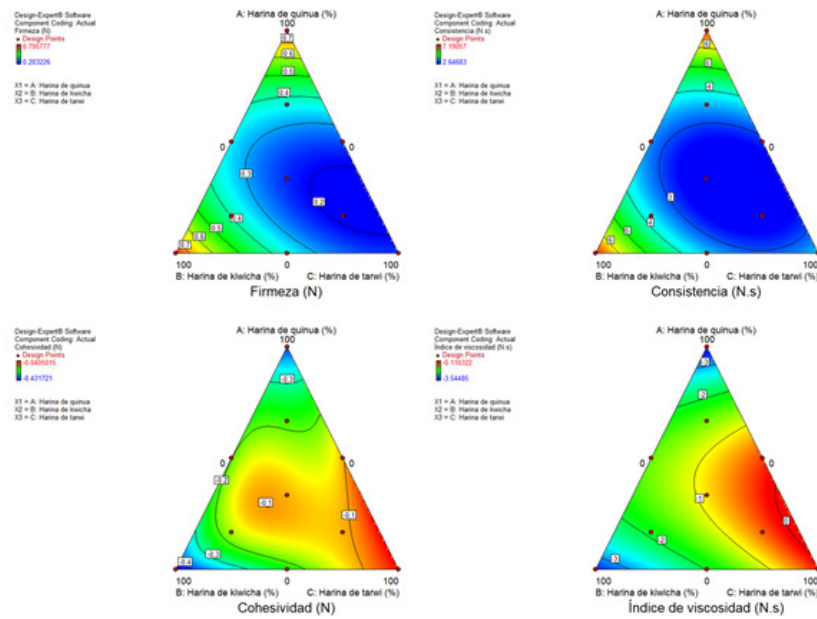


Figura 2. Diagramas de contorno de los efectos de las mezclas de harinas de quinua, kiwicha y tarwi sobre la firmeza (N), consistencia (N.s), cohesividad (N) e índice de viscosidad (N.s) de los geles formados.

Tabla 5. Modelos matemáticos predictivos que indican el efecto de cada componente de la mezcla y sus interacciones sobre los parámetros de color, % CRA, propiedades de pasta y propiedades texturales de los geles formados al mezclar harina de quinua (HQ), harina de kiwicha (HK) y harina de tarwi (HT)

Parámetros	Modelo matemático predictivo*	R ²
<i>Parámetros de color y funcional (Y)</i>		
%CRA	$Y = 65.37 (HQ) + 95.29 (HK) + 221.99 (HT)$	0.9954
L*	$Y = 60.89 (HQ) + 65.94 (HK) - 68.15 (HT) - 9.60 (HQ) (HK) - 10.65 (HQ) (HT)$	0.9664
a*	$Y = 2.84 (HQ) + 1.18 (HK) - 0.57 (HT) + 2.69 (HQ) (HK) + 3.81 (HQ) (HT)$	0.9849
b*	$Y = 9.99 (HQ) + 11.68 (HK) + 14.93 (HT) - 2.61 (HQ) (HT)$	0.9962
<i>Propiedades de pasta (Y)</i>		
Viscosidad pico (cP)	$Y = 1157.01 (HK) - 1817.26 (HQ) (HK) - 1169.26 (HK) (HT)$	0.9850
Viscosidad mínima (cP)	$Y = 160.28 (HQ) + 916.28 (HK) - 1322.72 (HQ) (HK) - 686.72 (HK) (HT)$	0.9911
Viscosidad final (cP)	$Y = 346.82 (HQ) + 1172.55 (HK) + 13.23 (HT) - 1659.45 (HQ) (HK) - 818.63 (HK) (HT)$	0.9919
Viscosidad de retrogradación (cP)	$Y = 186.54 (HQ) + 256.27 (HK) - 336.73 (HQ) (HK) - 245.36 (HQ) (HT)$	0.9830
<i>Propiedades texturales (Y)</i>		
Firmeza (N)	$Y = 0.78 (HQ) + 0.77 (HK) + 0.23 (HT) - 1.72 (HQ) (HK) - 1.03 (HQ) (HT)$	0.9771
Consistencia (N.s)	$Y = 7.04 (HQ) + 7.04 (HK) + 3.51 (HT) - 15.06 (HQ) (HK) - 9.66 (HQ) (HT) - 7.06 (HK) (HT)$	0.9631
Cohesividad (N)	$Y = -0.41 (HQ) - 0.43 (HK) - 0.041 (HT) + 0.88 (HQ) (HK) + 0.49 (HQ) (HT) - 2.38 (HQ)^2 (HK) (HT) + 8.07 (HQ) (HK)^2 (HT) - 3.20 (HQ) (HK) (HT)^2$	0.9999
Índice de viscosidad (N.s)	$Y = -3.75 (HQ) - 3.41 (HK) + 8.35 (HQ) (HK) + 6.52 (HQ) (HT)$	0.9304

* Sólo las variables significativas ($p < 0.05$) fueron seleccionadas para la construcción del modelo matemático predictivo.

DISCUSIÓN

Características de las harinas y formulaciones

La composición proximal de la quinua y kiwicha

fueron muy similares a lo reportado por Repo-Carrasco et al. (2010), de la misma forma para el caso del tarwi, el alto contenido de proteínas (52.9%) y grasa (21.6%) de esta leguminosa fue similar a los reportado por (Rosell, Cortez, & Repo-Carrasco, 2009).

Con respecto a la capacidad de retención de agua (% CRA) según Turkut et al. (2016), esta propiedad está relacionada al contenido de proteínas y fibras de las harinas. El elevado % CRA de la harina de tarwi (222.8%) fue debido al alto contenido de proteínas presentes en su composición. Sathe, Deshpande, & Salunkhe (1982) reportan que la CRA de la harina de la harina de tarwi fue de 120% cuando el contenido de proteína fue de 44.43%. Esta característica puede ser beneficiosa para los panes libres de gluten, porque puede retardar el envejecimiento del pan (Sciarini, Ribotta, León, & Pérez, 2010) o también puede afectar negativamente el volumen final de los panes, si es que no se incorpora la cantidad de agua apropiada para lograr la gelatinización completa de los almidones (Sahagún & Gómez, 2018).

Según los valores obtenidos de L* y b*, las formulaciones con harinas de kiwicha y tarwi prometen dar producto terminados de color amarillo, mientras que las formulaciones en que predomina la harina de quinua, tendrán colores más oscuros.

Propiedades de pasta de las formulaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, la incorporación de la harina de tarwi disminuyó significativamente los parámetros de viscosidad del sistema cuando se mezcló con las harinas de quinua y kiwicha. Este efecto puede ser comparado con las investigaciones realizadas con la harina de soya, la cual tiene similar composición que la harina de tarwi. Por ejemplo, Sciarini et al. (2010) reportan la disminución de los valores de VP y VR cuando la harina de soya se mezcló con la harina de arroz y almidón de maíz. Según los autores, esta disminución está relacionado con la dilución del almidón causado por la presencia de proteínas. Señalando que las proteínas de soya pueden actuar como relleno inactivo interfiriendo la asociación de los enlaces de hidrógeno entre las moléculas del almidón. Julianti, Rusmarilin, & Yusraini (2017) también reportan la disminución de la VP y VR cuando la harina de soya se mezcló

con la harina de camote y almidón de maíz. Los autores atribuyen la disminución de la viscosidad en las mezclas debido a las interacciones que tienen los almidones con la grasa y proteína de la harina de soya. Por lo tanto, es de esperar que la harina de tarwi, tenga un comportamiento similar a la harina de soya, y que el elevado contenido de proteínas y grasa en su composición afecte significativamente las propiedades de pasta de los tratamientos.

Las interacciones entre las harinas de quinua y kiwicha tuvieron efectos no aditivos y no lineales en los parámetros de viscosidad en el sistema acuoso, según Obanni & Bemiller (1997) esto se observa cuando los almidones mezclados tienen diferentes temperaturas de gelatinización ya que la amilopectina solubilizada del almidón con menor temperatura de gelatinización, puede formar una red atrapando los gránulos del segundo almidón evitando su correcta gelatinización. Según Li, Wang, & Zhu (2016) la temperatura de gelatinización del almidón de quinua se encuentra entre 56.2 °C y 64.6 °C, mientras que la temperatura de gelatinización del almidón de kiwicha se encuentra entre 65.22 °C y 67.05 °C (Singh et al., 2014), por lo tanto, es de esperar que el almidón de la quinua gelatinice primero y que la amilopectina lixiviada atrape los gránulos de almidón de kiwicha disminuyendo así los parámetros de viscosidad de las mezclas.

Propiedades texturales de los geles formados

Las propiedades texturales de los geles formados en esta investigación estuvieron muy correlacionadas con las propiedades de pasta de las formulaciones. Esto significa que las propiedades texturales pueden servir como una herramienta económica y rápida de análisis para el desarrollo de productos, ya que, conociendo por ejemplo la firmeza o el índice de viscosidad de un gel se podría conocer los diferentes parámetros reológicos.

Se evidenció que la incorporación de harina de tarwi disminuyó significativamente la firmeza,

consistencia, cohesividad e índice de viscosidad de los geles. Esto es debido a la ausencia o poco porcentaje de almidón que puede tener esta leguminosa (Wrigley, 2003).

CONCLUSIONES

Se concluye que la harina de tarwi disminuyó significativamente los parámetros reológicos y texturales de las mezclas con harina de quinua y kiwicha, debido básicamente, a la ausencia de almidón y la gran cantidad de proteína y grasa que contiene esta leguminosa. La harina de kiwicha presentó los mayores índices de viscosidad, seguido por la harina de quinua; sin embargo, las formulaciones binarias entre las harinas de quinua y kiwicha evidenciaron efectos no aditivos y no lineales en los parámetros de viscosidad y propiedades texturales. Los resultados de esta investigación demuestran que las mezclas binarias entre las harinas de quinua – tarwi o kiwicha - tarwi resultarían promisorias para el desarrollo de productos de panificación libres de gluten.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Proyecto PROTEIN2FOOD (Horizonte 2020 de la Unión Europea, N° 635727) por el apoyo financiero de esta investigación. El primer autor desea agradecer a Cienciaactiva de CONCYTEC por financiar sus estudios doctorales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC. (2010). *AACCI Method 76-21.01. General Pasting Method for Wheat or Rye Flour or Starch Using the Rapid Visco Analyser (11th ed.)*. S. Paul, Minnesota: AACCI.
- Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science and Technology*, 21(2), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014>
- Alvarez-Jubete, L., Auty, M., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology*, 230(3), 437–445. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1184-z>
- Angioloni, A., & Collar, C. (2009). Small and large deformation viscoelastic behaviour of selected fibre blends with gelling properties. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 742–748. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.04.005>
- AOAC. (2000). *Official methods of analysis (17th ed.)*. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.
- Cornell, J. A. (2011). *A Primer on Experiments with Mixtures*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470907443>
- Horstmann, S. W., Foschia, M., & Arendt, E. K. (2017). Correlation analysis of protein quality characteristics with gluten-free bread properties. *Food & Function*, 8(7), 2465–2474. <https://doi.org/10.1039/C7FO00415J>
- Inglett, G. E., Xu, J., Stevenson, D. G., & Chen, D. (2009). Rheological and Pasting Properties of Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Möench) Flours With and Without Jet-Cooking. *Cereal Chemistry Journal*, 86(1), 1–6. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-86-1-0001>
- Jacobsen, S.-E., & Mujica, A. (2006). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *Botanica Economica de Los Andes Centrales*- Universidad Mayor de San Andrés, 458–482.
- Julianti, E., Rusmarilin, H., & Yusraini, E. (2017). Functional and rheological properties of composite flour from sweet potato, maize, soybean and xanthan gum. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(2), 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.05.005>
- Li, G., Wang, S., & Zhu, F. (2016). Physicochemical properties of quinoa starch. *Carbohydrate Polymers*, 137, 328–338. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.064>

- Obanni, M., & Bemiller, J. N. (1997). Properties of Some Starch Blends. *Cereal Chemistry*, 74(4), 431–436. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.4.431>
- Repo-Carrasco, R., Hellström, J. K., Pihlava, J. M., & Mattila, P. H. (2010). Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry*, 120(1), 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.087>
- Rosell, C. M., Cortez, G., & Repo-Carrasco, R. (2009). Breadmaking use of andean crops quinoa, Kañiwa, Kiwicha, and Tarwi. *Cereal Chemistry*, 86(4), 386–392. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-86-4-0386>
- Sahagún, M., & Gómez, M. (2018). Assessing Influence of Protein Source on Characteristics of Gluten-Free Breads Optimising their Hydration Level. *Food and Bioprocess Technology*, 11(9), 1686–1694. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2135-0>
- Sathe, S. K., Deshpande, S. S., & Salunkhe, D. K. (1982). Functional Properties of Lupin Seed (*Lupinus mutabilis*) Proteins and Protein Concentrates. *Journal of Food Science*, 47(2), 491–497. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb10110.x>
- Schoenlechner, R., Mandala, I., Kiskini, A., Kostaropoulos, A., & Berghofer, E. (2010). Effect of water, albumen and fat on the quality of gluten-free bread containing amaranth. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(4), 661–669. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02154.x>
- Sciarini, L. S., Ribotta, P. D., León, A. E., & Pérez, G. T. (2010). Influence of Gluten-free Flours and their Mixtures on Batter Properties and Bread Quality. *Food and Bioprocess Technology*, 3(4), 577–585. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0098-2>
- Singh, N., Kaur, S., Kaur, A., Isono, N., Ichihashi, Y., Noda, T., & Rana, J. C. (2014). Structural, thermal, and rheological properties of *Amaranthus hypochondriacus* and *Amaranthus caudatus* starches. *Starch/Staerke*, 66(5–6), 457–467. <https://doi.org/10.1002/star.201300157>
- Turkut, G. M., Cakmak, H., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2016). Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 69, 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.03.005>
- Vidaurre-Ruiz, J. M., Días-Rojas, G., Mendoza-Llamo, E., & Solano-Cornejo, M. (2017). Variación del contenido de betalainas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante durante el procesamiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* W.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(3), 319–330.
- Wrigley, C. (2003). The Lupin - The grain with no starch. *Cereal Foods World*, 48(1), 30–31.
- Yilmaz, M. T., Yildiz, Ö., Yurt, B., Toker, O. S., Karaman, S., & Baştürk, A. (2015). A mixture design study to determine interaction effects of wheat, buckwheat, and rice flours in an aqueous model system. *LWT - Food Science and Technology*, 61(2), 583–589. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.045>
- Ziobro, R., Witczak, T., Juszczak, L., & Korus, J. (2013). Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristic. *Food Hydrocolloids*, 32(2), 213–220. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.01.006>