

Comportamiento reológico de masas de panificación de harina de trigo sustituidas con harinas de quinua y cañihua germinadas.**Rheological behavior of wheat flour bread doughs substituted with germinated quinoa and cañihua flours.****Comportamento reológico das massas de pão de farinha de trigo substituídas por farinhas de quinua e cañihua germinadas.****Williams Esteward Castillo-Martinez¹, Luz María Paucar-Menacho²****Resumen**

La harina de trigo es una materia prima para una amplia gama de productos alimentarios, y, por esta razón, se utiliza ampliamente en las industrias de panadería, pasta, galletas y pasteles. En la actualidad, la población ha buscado nuevas formulaciones de productos destinados a la salud y la calidad de vida, siendo los pseudocereales andinos germinados una alternativa de compuestos saludables. El objetivo del trabajo de investigación fue evaluar los parámetros reológicos de la harina de trigo cuando se sustituye con harina de quinua y harina de cañihua germinadas. La germinación de las semillas de quinua (20°C x 42 h con 90% HR) y cañihua (20°C x 30 h con 90% HR), se realizó usando los parámetros propuestos en publicaciones científicas. Se aplicó un diseño Simplex con Centroides con un total de 14 formulaciones de masas, variando los componentes de la mezcla en: Harina de trigo de 60-80%, harina de Quinua germinada de 5-25% y harina de cañihua de 5-25%. Los parámetros reológicos evaluados fueron Absorción de Agua (%), tiempo de desarrollo de la masa (minutos), estabilidad de la masa (minutos), consistencia de la masa (Unidades Farinográficas); resistencia a la extensión de la masa (Unidades Brabender), extensibilidad de la masa (milímetros), temperatura de gelatinización (°C) y la máxima Gelatinización (Unidades Amilográficas). Se concluye que los parámetros reológicos de las masas son influenciadas proporcionalmente con el porcentaje de sustitución, siendo menores para productos de panificación como panes y mayores para galletas.

Palabras clave: *Pseudocereales, farinografía, extensografía, amilografía, germinación.*

Abstract

Wheat flour is a raw material for a wide range of food products, and, for this reason, it is widely used in the bakery, pasta, cookie and cake industries. Nowadays, the population has been looking for new formulations of products aimed at health and quality of life, being the germinated Andean pseudocereals an alternative of healthy compounds. The objective of the research work was to evaluate the rheological parameters of wheat flour when substituted with germinated quinoa flour and cañihua flour. The germination of quinoa (20°C x 42 h at 90% RH) and cañihua (20°C x 30 h at 90% RH) seeds was carried out using the parameters proposed in scientific publications. A Simplex design with Centroid was applied with a total of 14 dough formulations, varying the components of the mixture in: Wheat flour 60-80%, germinated Quinoa flour 5-25% and cañihua flour 5-25%. The rheological parameters evaluated were water absorption (%), dough development time (minutes), dough stability (minutes), dough consistency (Farinographic Units); dough extension resistance (Brabender Units), dough extensibility (millimeters), gelatinization temperature (°C) and maximum gelatinization (Amylographic Units). It is concluded that the rheological parameters of the doughs are influenced proportionally with the percentage of substitution, being lower for bakery products such as breads and higher for cookies.

Keywords: *Pseudocereals, farinography, extensography, amylography, germination.*

Resumo

A farinha de trigo é uma matéria-prima para uma ampla gama de produtos alimentícios, e por esta razão é amplamente utilizada nas indústrias de panificação, massas, biscoitos e bolos. Atualmente, a população tem procurado novas formulações de produtos voltados para a saúde e qualidade de vida, sendo os pseudocereais

¹Departamento de Agroindustria y Agrónoma, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Perú. wcastillo@uns.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0001-6917-1009>

²Departamento de Agroindustria y Agrónoma, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Perú. luzpaucar@uns.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0001-5349-6167>

Recibido: 19-03-2021

Aceptado: 15-05-2021

andinos brotados um composto saudável alternativo. O objetivo do trabalho de pesquisa era avaliar os parâmetros reológicos da farinha de trigo quando substituída por farinha de quinoa germinada e farinha de cañihua. A germinação das sementes de quinoa (20°C x 42 h a 90% RH) e cañihua (20°C x 30 h a 90% RH) foi realizada utilizando os parâmetros propostos em publicações científicas. Um projeto Simplex com Centroid foi aplicado com um total de 14 formulações de massa, variando os componentes da mistura para dentro: Farinha de trigo 60-80%, farinha de quinoa germinada 5-25% e farinha de cañihua 5-25%. Os parâmetros reológicos avaliados foram absorção de água (%), tempo de desenvolvimento da massa (minutos), estabilidade da massa (minutos), consistência da massa (Unidades Farinográficas); resistência de extensão da massa (Unidades Brabender), extensibilidade da massa (milímetros), temperatura de gelatinização (°C) e gelatinização máxima (Unidades Amilográficas). Conclui-se que os parâmetros reológicos das massas são influenciados proporcionalmente ao percentual de substituição, sendo menor para produtos de panificação, como pães, e maior para biscoitos. Pseudocereais, farinografia, extensografia, amilografia, germinação.

Palavras-chave: Pseudocereais, farinografia, extensografia, amilografia, germinação.

Introducción

Generalmente es común el uso de harina de trigo para la elaboración de pan, sin embargo, es posible sustituir parcialmente este insumo por harinas de otras materias primas, para dotar al pan de componentes nutricionales y saludables (compuestos bioactivos y capacidad antioxidante); como es el caso de la sustitución parcial por harina de grano germinado (quinua y cañihua).

Muchos autores han tratado de mejorar las características nutricionales de los productos de panificación mediante la sustitución parcial de la harina de trigo por otras harinas conocidas por su mayor riqueza nutricional en comparación con la harina de este cereal amiláceo. Sin embargo, la incorporación de otras harinas provoca cambios en los parámetros de calidad final de productos de panificación como, por ejemplo, disminución del volumen, pardeamiento de la miga, cambio en las características reológicas, entre otros. (Eleazu et al., 2014; Nemar et al., 2015; Pourafshar, S., Rosentrater, K. A., & Krishnan, 2015; Trejo-González, Loyo-González & Munguía-Mazariegos, 2014).

La sustitución parcial de la harina de trigo por otros ingredientes provoca cambios en el comportamiento reológico de la masa, modificando sus características, el tiempo de fermentación y la calidad final del producto. Sin embargo, el porcentaje de sustitución está directamente relacionado con los cambios que pueden producirse, como la dilución de la proteína formadora de gluten presente en la harina de trigo y la interacción con los demás componentes del medio. Por lo tanto, conocer el comportamiento de la mezcla de la masa, el tiempo y la temperatura de fermentación, el proceso de fabricación y la calidad de la harina de trigo puede minimizar parte de este efecto (Cauvain y Young, 2009).

En el Perú, y predominantemente en comunidades rurales de los Andes, la alimentación se basa en el consumo de vegetales, predominando los tubérculos (papa, oca y mashua), los cuales contienen abundante presencia de hidratos de carbono, pero son carentes de algunos aminoácidos esenciales. Por otro lado, el consumo de granos tales como la quinua, cañihua y kiwicha (ricos en contenido de lisina y metionina) logran compensar las carencias presentadas por los tubérculos (Ayala et al., 2004). La quinua (*Chenopodium quinoa*) es un pseudocereal que pertenece a la familia Chenopodiaceae. La región andina, que comprende los países Chile, Argentina, Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia, es el centro de origen de muchas variedades de quinua, que durante miles de años fue el principal alimento de las culturas antiguas de la región (FAO, 2011). Su grano tiene proteína de calidad, que satisface las necesidades de aminoácidos básicos, balance proteico de alimentos y piensos. Además, también satisface la creciente demanda de alimentos equilibrados y funcionales, relacionados con la búsqueda de alternativas dietéticas, como la ausencia de gluten (Spehar, Rocha Y Santos, 2011). La Cañihua es un grano originario de Perú y Bolivia, que fue domesticado por la cultura Tiahuanaco en la meseta del Collao, ubicada a más de 3,600 m sobre el nivel del mar., es una buena fuente de proteínas, lípidos y, especialmente, de fibra dietética que se compara con los cereales como el trigo y el arroz, y no tiene saponinas, compuestos glucosídicos de esteroides o terpenos. Los componentes principales son los

carbohidratos (57 - 65%), cuyo contenido depende de la variedad, y entre estos compuestos se encuentran los azúcares, como sacarosa, glucosa (1.8%) y maltosa (1,7%) y almidón, que necesita investigación sobre sus propiedades (Repo-Carrasco; Espinoza; Jacobsen, 2003).

Varios autores han reportado la posibilidad de aprovechar el proceso de germinación para mejorar las propiedades nutricionales y sensoriales de cereales y pseudocereales, en términos de aumento de la biodisponibilidad de minerales, vitaminas y compuestos bioactivos, así mismo la disminución de los factores antinutricionales. (Suárez-Estrella, Cardone, Buratti, Pagani, y Marti, 2020; Ujiroghene, et. al., 2019; Paucar-Menacho, Martínez-Villaluenga, Dueñas, Frias, y Peñas, 2018; Wunthunyararat, Seo, y Wang, 2020; Albarracín, De Greef, González y Drago, 2015). La germinación es simple y de bajo costo, y mejora la palatabilidad, la digestibilidad y la disponibilidad de ciertos nutrientes (López-Martínez, Leyva-López, Gutiérrez-Grijalva, y Heredia, 2017). La germinación del grano, produce cambios en la composición, se ha optimizado las condiciones para granos de Quinua y Kiwicha. Se aumenta el contenido de proteínas, fibra dietética total, compuestos fenólicos libres y unidos, así como la actividad de búsqueda de radicales libres (Pasko et al., 2009; Perales-Sánchez et al., 2014). Otros estudios han demostrado que cereales germinados y granos pseudocereales como la quinua tienen aumento de los niveles de ácido g-aminobutírico (Morita, Park, & Maeda, 2013; Zhang et al., 2014; Bravo, Reyna, Gómez y Huapaya, 2013), que ejercer efectos fisiológicos beneficiosos in vivo, como la regulación de la presión arterial y la frecuencia cardíaca, etc.

Es necesario que para la sustitución parcial de la harina de trigo, se realice una evaluación de las propiedades reológicas de la masa (tiempo de desarrollo, tiempo de estabilidad, resistencia a la extensión, temperatura de gelatinización y máxima gelatinización), de tal manera que se garantice la calidad sensorial del pan a elaborar. De esta manera, se podrá obtener un producto de panificación con mayor calidad nutricional y con aceptables propiedades tecnofuncionales aceptables, por lo que se planteó como objetivo de la investigación evaluar los parámetros reológicos de la harina de trigo cuando se sustituye con harina de quinua y harina de cañihua germinadas

Materiales y métodos

Se considero como variable independiente el porcentaje de Harina de trigo (WF) de 80-90, porcentaje de Harina de Quinua germinada (GQF) de 5-15 y porcentaje de Harina de Cañihua germinada (GCF) de 5-15, de las mezclas de masas de panificación. Como variable dependiente se consideró los parámetros reológicos de las masas formuladas como los Parámetros Farinográficos: Absorción de Agua (AA), tiempo de desarrollo de la masa en minutos (DT), estabilidad de la masa en minutos (S) y consistencia de la masa en Unidades Farinograficas (C); parámetros Extensograficos: Resistencia a la extensión de la masa en Unidades Brabender (RE) y la extensibilidad de la masa en milímetros (E) y parámetros Amilográfico: temperatura de gelatinización en °C (GT) y la máxima Gelatinización en Unidades Amilográficas en AU (GM)

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Entre las técnicas e instrumentos de recolección de datos tenemos:

- a. Germinación de los granos andinos: La germinación de los granos de quinua ($T^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$ / HR% = 90% / Tiempo = 42 h) y cañihua ($T^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$ / HR% = 90% / Tiempo = 30 h), se realizó usando los parámetros propuestos en publicaciones científicas (Paucar-Menacho et al. 2017; Paucar-Menacho et al. 2018 y Abderrahim et al, 2012).
- b. Elaboración de harina de los granos andinos germinados: Los granos germinados fueron secados a 40°C , hasta una humedad de 4-5%, luego fueron molidos y tamizados para obtener la harina con un tamaño de partícula de 150-200 μm y se envasarán en envases de polietileno al vacío.
- c. Caracterización de la composición proximal, compuestos bioactivos y actividad antioxidante de la harina de granos germinados: Se realizó el análisis proximal de las harinas según los métodos de la AOAC, humedad (método 925.10), grasa (método 922.06), ceniza (método 923.03), proteína (método Kjeldahl 920.87), los análisis se realizarán en los laboratorios del

IITA-UNS. Se determino el contenido de ácido gamma-aminobutírico (GABA) por HPLC, compuesto fenólicos por Folin Ciocalteus y actividad antioxidante por ORAC-FL según esta descrito por Paucar-Menacho et al. 2017, los cuales se realizaron en el ICTAN-España.

- d. Caracterización de los parámetros reológicos de las masas de panificación formuladas con granos andinos germinados: Se empleo la metodología de American Association of Cereal Chemists (AACC) International. El análisis de farinografía, conforme a la metodología 5421.02, para determinar los parámetros porcentaje de Absorción de Agua (AA), tiempo de desarrollo de la masa en minutos (DT), estabilidad de la masa en minutos (S) y consistencia de la masa (C) en Unidades Farinograficas (FE), en el Farinograph E-Brabender (AACC, 2011). El análisis de extensografía, se realizó según el método 54-10.01 empleando un Extensograph E-Brabender (AACC, 1999), para evaluar la Resistencia a la extensión de la masa (RE) en Unidades Brabender (BU) y la extensibilidad de la masa en milímetros (E), Para el Análisis Amilográfico se tuvo como parámetros la temperatura de gelatinización en °C (GT) y la máxima Gelatinización (GM) en Unidades Amilográficas (AU)

Diseño experimental y análisis estadístico.

El diseño de la investigación fue experimental, en ese sentido, se aplicó un diseño de superficie de respuesta Simplex con Centroide (DSC) con 14 tratamientos experimentales, el DSC es un diseño de mezclas el cual permite hacer posible, a través de superficies de respuesta, estimar las propiedades de un sistema multicomponente a partir de un número limitado de observaciones. La matriz experimental se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1

Matriz de experimentos para las formulaciones de masas según Diseño Simplex con Centroide

Nº	Componentes		
	A: Harina de kiwicha germinada (%)	B: Harina de Cañihua Germinada (%)	C: Harina de trigo (%)
1	8	8	83
2	15	5	80
3	10	10	80
4	5	15	80
5	5	15	80
6	5	10	85
7	7	12	82
8	5	5	90
9	15	5	80
10	10	5	85
11	7	7	87
12	5	10	85
13	12	7	82
14	5	5	90

Se realizo un análisis estadístico de regresión múltiple para evaluar el efecto de las harinas en las Variables dependientes (VD) se realizó con el programa Statistica 7.0. Se realizó un análisis de varianza (95% de confiabilidad) de modelos de regresión lineal, cuadrático y cúbico, para escoger el modelo más significativo ($p < 0.05$) y de mejor ajuste (R^2) con el cual se construyeron las superficies de respuesta para determinar los rangos de harinas que optimizan las variables dependientes.

Resultados

1. Composición proximal de harinas de quinua y Canihua germinadas y sin germinar.

Se realizó el análisis de la composición proximal de las harinas de grano germinados y se comparó con la harina de granos sin germinar, como se puede observar hay diferencias estadísticas significativas entre cada una de los componentes a un 95% de confiabilidad (Tabla 2).

Tabla 2.

Características fisicoquímicas de la pulpa de aguaymanto recién obtenida

Componente	Harina de Cañihua	Harina de Cañihua germinada	Harina de Quinua	Harina de Quinua Germinada
Humedad (%)	10.01% ±0.15 ^a	5.00 ± 0.15 ^b	8.88% ± 0.06 ^a	4.52%±0.22 ^b
Proteína (% d.m.)	20.61% ±0.26 ^a	19.11 ±0.27 ^b	16.87% ± 0.13 ^a	13.52%±0.26 ^b
Lípidos (% d.m.)	6.18% ± 0.04 ^a	6.23 ±0.25 ^a	5.21% ± 0.07 ^b	7.18% ±0.39 ^a
Ceniza (% d.m.)	2.76% ± 0.13 ^a	2.68 ±0.05 ^a	2.48% ± 0.17 ^a	2.29% ±0.08 ^a
Carbohidratos (% d.m.)	60.45±0.33 ^b	66.50±0.19 ^b	66.56±0.39 ^b	72.48±0.52 ^a

Las letras diferentes en superíndice de la misma columna de la tabla indican una diferencia estadísticamente significativa entre los valores, a un nivel de significancia de $p < 0.05$ (basado en la prueba múltiples rangos de DUNCAN)

d.m.: Base seca.

2. Efecto de la incorporación de harinas de granos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) en las características reológicas de sus masas

En la tabla 3 se presentan los resultados de los análisis reológicos de las masas formuladas con harina de trigo y harina de quinua y cañihua germinadas. Se realizó el Análisis Farinográfico, teniendo como parámetros porcentaje de Absorción de Agua (AA), tiempo de desarrollo de la masa en minutos (DT), estabilidad de la masa en minutos (S) y consistencia de la masa en Unidades Farinográficas (C). Para el análisis extensográfico se tuvo como parámetros Resistencia a la extensión de la masa en Unidades Brabender (RE) y la extensibilidad de la masa en milímetros (E). Para el Análisis Amilográfico se tuvo como parámetros la temperatura de gelatinización en °C (GT) y la máxima Gelatinización en Unidades Amilográficas (GM) (AU). Se realizó un análisis de varianza para ver la significancia estadística del ajuste a los modelos matemáticos de los resultados obtenido para cada formulación según el diseño simplex con centroide (Tabla 4).

De la tabla 4 se puede observar que los parámetros reológicos AA y C son estadísticamente significativos para un modelo lineal y los parámetros reológicos DT, S, C, GT, GM y RE para un modelo cuadrático al presentar un p-valor menor a 0.05 (p-valor al 95% de confiabilidad), indicando que los resultados obtenidos de la matriz se ajustan mejor a este modelo del diseño simplex con centroide. De los parámetros del modelo se puede entender que si hay diferencias significativas entre los componentes de la mezcla (parámetro lineal), cuando varía su porcentaje de sustitución del nivel inferior a su nivel superior, teniendo una interacción significativa para el parámetro resistencia a la extensión, siendo esta la interacción Harina de quinua germinada con harina de trigo. Para evaluar el efecto de las mezclas en los parámetros reológicos mediante las superficies de respuesta, se ha considerado aquellos cuyos coeficientes de determinación (R^2) sean mayores a 0.9, siendo estos parámetros el tiempo de estabilidad de la masa (C), Temperatura de Gelatinización (GT) y Máxima Gelatinización (GM).

Tabla 3.

Parámetros reológicos de las masas formuladas con harina de quinua germinadas, harina de cañihua germinada y harina de trigo.

Formulación	% de componente de la mezcla			Análisis Reológico							
	GQF %	GCF %	WF %	AA %	DT min	S min.	C FE	GT °C	GM AU	RE BU	E mm.
F-1	8	8	83	64.3	3.77	4.12	830	79.5	323	823	71
F-2	15	5	80	64.6	2.8	3.73	845	76.6	258	948	73
F-3	10	10	80	64.1	3.35	3.67	824	78	271	1041	71
F-4	5	15	80	63.9	3.12	3.52	816	79.4	305	1079	69
F-5	5	15	80	65.3	3.45	3.45	872	80.3	342	983	68
F-6	5	10	85	63	3.27	4.27	781	81.5	354	1287	81
F-7	7	12	82	63.5	3.2	3.83	801	79.8	306	886	75
F-8	5	5	90	62.6	4.52	5.35	764	83.1	424	1431	86
F-9	15	5	80	63.8	3.67	4.05	811	77.6	266	868	80
F-10	10	5	85	63.2	3.42	4.45	787	79.6	336	923	70
F-11	7	7	87	63.3	3.73	4.57	791	81.9	374	1215	73
F-12	5	10	85	64.2	3.42	4.32	829	82.6	357	1097	72
F-13	12	7	82	64.9	3.62	3.7	856	78.8	281	986	80
F-14	5	5	90	62.9	4.35	5.42	774	82.9	437	1390	76

GQF: Harina germinada de quinua, GCF: Harina germinada de cañihua y WF: Harina de trigo.

AA: Absorción de Agua (%), DT: Tiempo de Desarrollo (min.), S: Estabilidad (min.)

C: Consistencia en Unidades Farinograficas (FE), GT: Temperatura de Gelatinización (°C), GM: Máxima Gelatinización en Unidades Amilograficas (AU). RE: Resistencia a la extensión en Unidades Brabender (BU), E: Extensibilidad (mm).

Tabla 4.

Resumen de análisis de Varianza del ajuste a los modelos del diseño de los resultados a los Parámetros reológicos de las masas formuladas con harina de quinua germinadas, harina de cañihua germinada y harina de trigo.

FUENTE		AA %	DT min	S min.	C FE	GT °C	GM AU	RE BU	E mm.
P-valor del modelo	Lineal	0.0114	0.0064	< 0.0001	0.0101	< 0.0001	< 0.0001	0.0029	0.1331
	Cuadrático	0.1783	0.0266	< 0.0001	0.1672	< 0.0001	< 0.0001	0.0023	0.28
P-valor de parámetros del modelo	Lineal	0.0114	0.0078	< 0.0001	0.0351	< 0.0001	< 0.0001	0.0029	0.1519
	AB	0.9605	0.3842	0.6883	0.9509	0.3773	0.0767	0.9572	0.8739
	Interacción AC	0.8321	0.4818	0.0713	0.8634	0.5238	0.4905	0.0365	0.1425
P-valor de falta de ajuste	Lineal	0.8423	0.6381	0.3214	0.8553	0.7618	0.5676	0.1493	0.6923
	Cuadrático	0.6074	0.7401	0.449	0.6239	0.8126	0.9592	0.212	0.6767
R ²	Lineal	0.4759	0.5278	0.9461	0.4870	0.9336	0.9380	0.5917	0.1810
	Cuadrático	0.2897	0.5877	0.9597	0.2979	0.9365	0.9628	0.7012	0.1713

AB: Interacción Harina germinada de quinua-harina germinada de cañihua

AC: Interacción Harina germinada de quinua-harina de trigo

BC: Interacción Harina germinada de cañihua-harina de trigo

AA: Absorción de Agua (%), DT: Tiempo de Desarrollo (min.), S: Estabilidad (min.)

C: Consistencia en Unidades Farinograficas (FE), GT: Temperatura de Gelatinización (°C), GM: Máxima Gelatinización en Unidades Amilograficas (AU). RE: Resistencia a la extensión en Unidades Brabender (BU), E: Extensibilidad (mm).

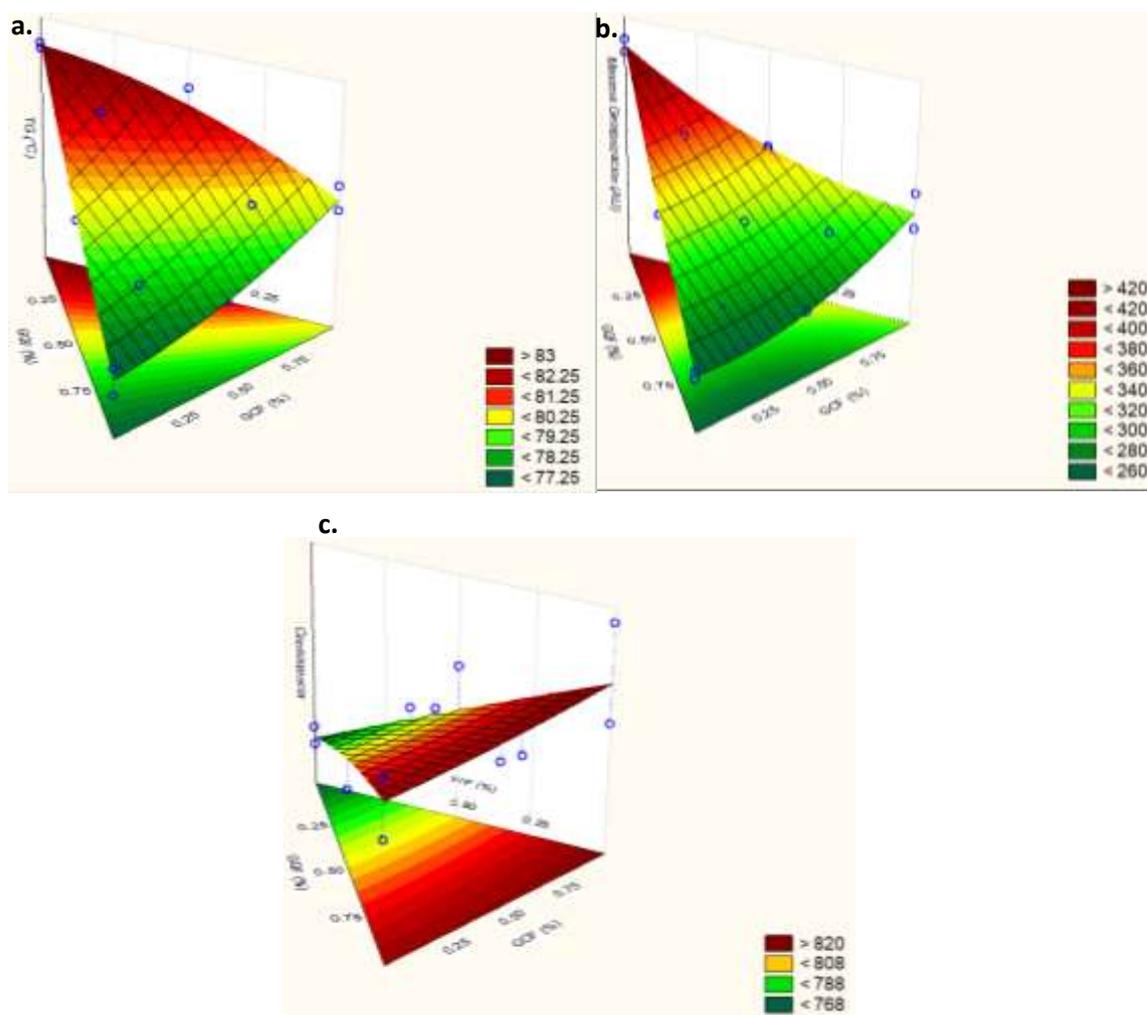


Figura 1. Gráfico de superficie de respuesta y contorno para a. Temperatura de gelatinización en °C (GT). b. Máxima Gelatinización en UA (GM). c. Consistencia de la masa en FE (C) de las masas formuladas con harina de Quinua y Cañihua germinadas

En la figura 6 se puede observar que la harina germinada de quinua hace disminuir la temperatura de gelatinización y gelatinización máxima de la mezcla conforme se aumenta su porcentaje de sustitución.

Discusión

De la tabla 2 se puede observar que hay diferencias estadísticas significativas al 95% de confiabilidad en los componentes proximales de la harina de granos germinada y sin germinar, esto debido a que en los períodos iniciales de germinación, los carbohidratos, proteínas y lípidos se degradan y consecuentemente se acompañan de un aumento de azúcares simples y aminoácidos libres (Nelson, Stojanovska, Vasiljevic y Mathai, 2013) y también se liberan las fracciones fenólicas insolubles ligadas a la pared celular. Por otro lado, con la formación de nuevas estructuras debido al crecimiento de las plantas durante la germinación, los compuestos fenólicos solubles pueden unirse a los carbohidratos y proteínas para formar nuevas paredes celulares, disminuyendo su cantidad en la fracción soluble (Gan, Lui, Wu, Chan, Dai, Sui y Corke, 2017).

En la figura 1a, según Hernández, M. S. (2012) y Rodríguez, Lascano y Sandoval (2012) indican que el almidón de quinua tiene una baja solubilidad y bajo poder de hinchamiento, debido a las fuertes fuerzas de unión o los entrecruzamientos dentro del gránulo de almidón, indicando que mayor contenido hace disminuir estos parámetros. Caso contrario sucede con la cañihua que a mayor porcentaje en la mezcla aumenta el valor de estos parámetros; Betalleluz-Pallardel et al.

(2017) estudiaron la proteína de la cañihua encontrando un pico endotérmico cuando se evaluó con calorimetría diferencial de barrido, que se atribuyó al predominio de las interacciones hidrofóbicas que aumentan su estabilidad con el incremento de la temperatura. Así mismo el pequeño tamaño de los gránulos de almidón en la cañihua contribuye a mejorar su resistencia contra el estrés mecánico y térmico (Luna-Mercado, G. I., & Repo-Carrasco-Valencia, 2021)

En la figura 1c, para el caso de tiempo de estabilidad de masa se puede observar que ambas harinas de granos germinados disminuyen este tiempo en igual proporción. Se puede observar que ambas harinas aumentan el valor de consistencia de la masa cuando aumentan su sustitución en la misma proporción. Rodríguez, Lascano y Sandoval (2012) y Morita, Hirata, Park, Mitsunaga, (2001). reportaron que la estabilidad de la masa en el farinógrafo decrece a medida que se aumenta la sustitución de la harina de quinua, de 7,5 a 20%. Por otro lado, cuando el mezclado es excesivo, la fuerza de la masa decrece, principalmente, por el debilitamiento de la proteína, debido al esfuerzo de corte mecánico. Los valores del debilitamiento mecánico de la harina de trigo patrón, como de las harinas compuestas, son muy bajos en comparación a los reportados por Rosell, Collar y Haros (2007).

Nuestros resultados confirmaron parcialmente un estudio previo de Park et al. (2005) quienes informaron que la sustitución de 100g/kg de trigo por quinua en 48 h no resultó en ninguna modificación del tiempo de desarrollo de la masa, mientras que sí provocó un aumento en la absorción de agua y una disminución en los índices de estabilidad. Las diferencias en las condiciones de brotación (es decir, temperatura, humedad relativa) y la variedad de grano pueden explicar los diferentes resultados Suárez-Estrella, et al; 2020).

Conclusiones

La sustitución parcial de la harina de trigo por harinas de pseudocereales germinados de quinua y cañihua influyen en los parámetros reológicos de sus masas, pero se podría utilizarse para producir productos de panificación con mayor calidad nutricional y propiedades tecnofuncionales (Reologicas) aceptables, pero a bajos porcentajes sustitución para panes y mayores porcentajes para galletas.

Agradecimiento

El reconocimiento al “Proyecto de Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica” 8682-PE, al “Banco Mundial”, al “CONCYTEC” y “FONDECYT” como entidad financiadora a través de la subvención Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico 2018.

Referencias

- Albarracín, M., De Greef, D. M., González, R. J., & Drago, S. R. (2015). Germination and extrusion as combined processes for reducing phytates and increasing phenolics content and antioxidant capacity of *Oryza sativa* L. whole grain flours. *International journal of food sciences and nutrition*, 66(8), 904-911.
- Ayala, G., L. Ortega y C. Morón (2004). Valor nutritivo y usos de la quinua. In: A. Mujica, S. Jacobsen, J. Izquierdo y JP. Marathe (eds). *Quinua: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. FAO. UNA. CIP. Santiago, Chile. pp 215-253.
- Bravo, A.; Reyna, R.; Gómez, M & Huapaya, H. 2013. Estudio químico y nutricional de granos andinos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 16(1), 54 – 60.
- Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2009). *Tecnologia da panificação*. Tradução Carlos David Szlak. Barueri/SP: Manoele, 19. 440.
- Eleazu, C., Eleazu, K., Aniedu, C., Amajor, J., Ikpeama, A., & Ebenzer, I. (2014). Effect of partial replacement of wheat flour with high quality cassava flour on the chemical composition, antioxidant activity, sensory quality, and microbial quality of bread. *Preventive nutrition and food science*, 19(2), 115.

- FAO, 2013. The International Year of Quinoa, <http://www.fao.org/quinoa-2013/en/>
- López-Martínez, L. X., Leyva-López, N., Gutiérrez-Grijalva, E. P., & Heredia, J. B. (2017). Effect of cooking and germination on bioactive compounds in pulses and their health benefits. *Journal of Functional Foods*, 38, 624–634. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.03.002>
- Morita, N.; Hirata, C.; Park, S.H.; Mitsunaga, T. (2001). Quinoa flour as a new foodstuff for improving dough and bread. *J. Appl. Glycosci.* 48(3), 263-270.
- Nemar, F., Bouras, A. D., Koiche, M., Assal, N. E., Mezaini, A., & Prodhomme, J. (2015). Bread quality substituted by potato starch instead of wheat flour. *Italian Journal of Food Science*, 27(3), 345-350.
- Paško, P., Bartoń, H., Zagrodzki, P., Gorinstein, S., Fołta, M., & Zachwieja, Z. (2009). Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food chemistry*, 115(3), 994-998.
- Paucar-Menacho, L. M., Martínez-Villaluenga, C., Dueñas, M., Frias, J., & Peñas, E. (2018). Response surface optimisation of germination conditions to improve the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity in quinoa. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(2), 516-524.
- Perales-Sánchez, J. X., Reyes-Moreno, C., Gómez-Favela, M. A., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E. O., Valdez-Ortiz, A., & Gutiérrez-Dorado, R. (2014). Increasing the antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents by optimizing the germination conditions of amaranth seeds. *Plant foods for human nutrition*, 69(3), 196-202.
- Pourafshar, S., Rosentrater, K. A., & Krishnan, P. G. (2015). Using alternative flours as partial replacement of barbari bread formulation (traditional Iranian bread). *Journal of food science and technology*, 52(9), 5691-5699.
- Repo-Carrasco, R., Espinoza, C., & Jacobsen, S. E. (2003). Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food reviews international*, 19(1-2), 179-189.
- Spehar, C. R., Rocha, J. E. D. S., & Santos, R. L. D. B. (2011). Desempenho agrônômico e recomendações para cultivo de quinoa (BRS Syetetuba) no cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41, 145-147.
- Suárez-Estrella, D., Cardone, G., Buratti, S., Pagani, M. A., & Marti, A. (2020). Sprouting as a pre-processing for producing quinoa-enriched bread. *Journal of Cereal Science*, 96, 103111.
- Trejo-González, A. S., Loyo-González, A. G., & Munguía-Mazariegos, M. R. (2014). Evaluation of bread made from composite wheat-sweet potato flours. *International Food Research Journal*, 21(4), 1683.
- Ujiroghene, O. J., Liu, L., Zhang, S., Lu, J., Zhang, C., Lv, J., ... & Zhang, M. (2019). Antioxidant capacity of germinated quinoa-based yoghurt and concomitant effect of sprouting on its functional properties. *LWT*, 116, 108592.
- Wunthunyarat, W., Seo, H. S., & Wang, Y. J. (2020). Effects of germination conditions on enzyme activities and starch hydrolysis of long-grain brown rice in relation to flour properties and bread qualities. *Journal of food science*, 85(2), 349-357.
- Zhang, B., Deng, Z., Ramdath, D. D., Tang, Y., Chen, P. X., Liu, R., Liu, Q., y Tsao, R. (2015). Phenolic profiles of 20 Canadian lentil cultivars and their contribution to antioxidant activity and inhibitory effects on α -glucosidase and pancreatic lipase. *Food Chemistry*, 172, 862–872.