

Efecto de la harina de *Chenopodium quinoa*, del tiempo y la temperatura de fermentación en el volumen de masa fermentada y en la calidad del pan francés

Effect of *Chenopodium quinoa* flour, fermentation time and temperature on the volume of sourdough and quality of french bread

Recibido: 21 de noviembre de 2022 | Revisado: 26 de enero de 2023 | Aceptado: 25 de mayo de 2023

Wilfredo Trasmonte Pinday¹

Abstract

The aim of this investigation was to determine the percentage in the substitution of wheat flour (HT) by quinoa flour (HQ), fermentation time and temperature that influence the volume of the fermented dough and acceptability of French bread. The method consisted of the formulation, analysis of flours and rheological analysis of mixtures, determining, in the farinograph: the water absorption index, the development time, the stability, the mixing tolerance index; in the extensograph: the mixing energy, the resistance to extension and extensibility and in the amylograph: the start of gelatinization, the gelatinization temperature and the maximum gelatinization. The elaboration of formulations consisted of a factorial arrangement of 4*2*6 in percentages of quinoa flour (5, 10, 15 and 20%), temperatures (25 and 30°C) and fermentation times (20, 30, 40, 50 and 60 min), the volume of the fermented dough of treatments and in the final product the acceptability of the bread in color, flavor, texture and general appearance was determined by means of a 5-point hedonic scale and using a semi-trained panel of 18 judges. The results were treated using the SPSS v.26 program from IBM; Statistical analysis was performed using an analysis of variance to establish a significant difference between treatments at 5% significance and a Tukey test. From the results obtained, the treatment with 15% quinoa flour, 30°C and 60 minutes of fermented dough, was the best in a greater volume of bread. Regarding acceptability, the formulation with 15% quinoa flour obtained the best score.

Keywords: Wheat flour, quinoa flour, temperature, fermentation, rheological analysis, panarian capacity.

Resumen

El objetivo de la investigación fue determinar el porcentaje en la sustitución de harina de trigo (HT) por harina de quinua (HQ), tiempo y temperatura de fermentación que influyen en el volumen de la masa fermentada y aceptabilidad del pan francés. El método consistió en la formulación, análisis de harinas y análisis reológico de mezclas determinándose, en el farinógrafo: el índice de absorción de agua, el tiempo de desarrollo, la estabilidad, el índice de tolerancia de mezclado; en el extensógrafo: la energía de mezclado, la resistencia a extensión y extensibilidad y en el amilógrafo: el inicio de la gelatinización, la temperatura de gelatinización y la gelatinización máxima. La elaboración de formulaciones consistió en un arreglo factorial de 4*2*6 en porcentajes de harina de quinua (5, 10, 15 y 20 %), temperaturas (25 y 30°C) y tiempos de fermentación (20, 30, 40, 50 y 60 min), se determinó el volumen de la masa fermentada de tratamientos y en el producto final la aceptabilidad del pan en color, sabor, textura y aspecto general mediante una escala hedónica de 5 puntos y utilizando un panel semientrenado de 18 jueces. Los resultados se trataron haciendo uso del programa SPSS v.26 de IBM; el análisis estadístico, se realizó mediante un análisis de varianza para establecer diferencia significativa entre tratamientos al 5% de significancia y una prueba de Tukey. De resultados obtenidos, el tratamiento con 15% de harina de quinua, 30°C y 60 minutos de masa fermentada, resultó el mejor en un mayor volumen del pan. De la aceptabilidad, la formulación con 15% de harina de quinua obtuvo la mejor puntuación.

Palabras Clave: Harina de trigo, harina de quinua, temperatura, fermentación, análisis reológico, capacidad panaria.

Este artículo es de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International



¹ Escuela Universitaria de Posgrado – UNFV. Lima, Perú
Correo: wtrasmontep@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9190-4595>

<https://doi.org/10.24039/rcvp2023211673>

Introducción

El Perú produce una diversidad de alimentos de origen vegetal con alto valor nutritivo que no son aprovechados adecuadamente con capacidad de industrialización. La quinua es una fuente de minerales, compuestos fenólicos, fibra dietética y ácidos grasos poliinsaturados lo que explica los beneficios potenciales para la salud de la quinua al contribuir a la prevención de diversas enfermedades como el cáncer, la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y el envejecimiento (Tang y Tsao, 2017, como se citó en Suárez et al., 2020).

La quinua posee una proporción importante del aminoácido lisina que duplica el valor contenido de otros cereales y ha sido la base de suplementar la harina de trigo con harina de quinua; el contenido de fibra también es elevado siendo una propiedad importante en la dietética moderna, por lo cual “la harina de quinua puede utilizarse en harinas compuestas con gran ventaja alimentaria, aportando proteínas de mejor calidad que las de los cereales” (Dendy y Dobraszczyk, 2003, p. 455).

“El gluten, componente importante en la panificación, sufre una merma por sustitución de harina de trigo, pero muchas de las harinas alternativas tienen propiedades que complementan al gluten” (Ohimain, 2015, p. 258); por lo tanto, no se ha estudiado con mayor amplitud el comportamiento de mezclas de harina de trigo con harina de quinua en sus características reológicas de la masa panaria, como también no se ha evaluado el efecto de la temperatura y el tiempo de fermentación en el volumen de la masa fermentada y las características de aceptabilidad del pan francés.

Se ha realizado trabajos de investigación referentes a mezclas de harina de trigo y harina de quinua con la finalidad de obtener un producto de mejor calidad nutritiva, evaluando sabor, color, volumen, características físicas, calidad de conservación y aceptación sensorial. Arroyave y Esguerra (2006), en panificación indican que: “el tratamiento que reportó el mejor nivel de aceptación sensorial fue el tratamiento compuesto por 85% de HT y 15% de HQ, el cual garantiza un aumento de proteína de hasta el 1,9%” (p.1). Pascual y Zapata (2010) en elaboración de pan dicen: “el ambiente ácido de las masas favorece a la formación del gluten y logra una masa más extensible, así como retrasa el desarrollo de microorganismos” (p. 381). García (2011), indica que “la utilización de mezclas de harina de quinua de la variedad Nariño con harina de trigo en concentraciones de 10, 20 y 30 % en la elaboración de pan de molde, se observó un aumento del color con un aumento de la proporción de harina de quinua y se presentaron algunos sabores característicos propios de la quinua con un cambio en el volumen” (p.

1). La quinua, “presenta de 10 a 18 % de proteína, de 4 a 8 %, de grasa, de 54 a 64 % de carbohidratos, de 2 a 4 % de cenizas y de 2 a 5 % de fibra cruda, su balance en aminoácidos es mejor que en el trigo y el maíz, porque la lisina, principal aminoácido limitante, se muestra en cantidades considerables” (Lorenz y Coulter, 1991 como se citó en Rodríguez y Sandoval, 2012, p. 200).

Se justifica la investigación porque mejora la calidad nutricional del pan con un mayor porcentaje de proteínas y aminoácidos esenciales en el producto elaborado y con una tecnología al alcance de los pequeños y medianos empresarios locales. El objetivo fue evaluar el efecto de la harina de quinua, de la temperatura y el tiempo de fermentación en el volumen de la masa fermentada y en la aceptabilidad del pan francés.

Materiales y métodos

Los análisis reológicos de las mezclas de harinas fueron realizados en el laboratorio de composición de alimentos agroindustriales en la Universidad Nacional del Santa, Región Ancash y los análisis fisicoquímicos, elaboración de los panes y evaluación sensorial, se realizaron en el Centro Experimental de Planificación y laboratorio de Tecnología de los Alimentos de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Región Ayacucho.

En la investigación, se aplicó el método científico experimental con la formulación y elaboración de pan, basado en la observación, experimentación, recolección y análisis estadístico de datos, para la discusión e interpretación de los resultados y la contrastación de las hipótesis, aplicando las ideas del marco teórico, la deducción lógica y la experiencia.

Los análisis fisicoquímicos realizados a las materias primas y al producto final fueron: análisis de humedad (método 950.46, AOAC, 2005), análisis de proteína (método 984.13, AOAC, 2005), análisis de grasa (método 2003.05, AOAC, 2005), análisis de fibra (método 962.09, AOAC, 2005), análisis de ceniza (método 942.05, AOAC, 2005), carbohidratos (se determinó por diferencia).

Procedimiento experimental

Se aplicó el diseño experimental realizado en tres etapas, formulación de mezclas de harinas e insumos, fermentación de tratamientos, evaluación del volumen de las masas fermentadas y aceptabilidad de los panes, en función a las variables independientes: porcentaje de harina de quinua en la formulación, temperatura y tiempo de fermentación de la masa. La evaluación sensorial fue realizada después del horneado y enfriado del pan. El diseño experimental es mostrado en la Tabla 1.

Tabla 1*Diseño experimental de la investigación*

N° Trnos.	H. de Quinua (%)	Temperatura fermentación (°C)	tiempo (min)	Volumen de masa (cc)	Acceptabilidad (Color, sabor, textura; apar. gral)
1			0		
2		25	20		
3			30		
4		30	40		
5			50		
6	5	-----	60		
7			0		
8		25	20		
9			30		
10		30	40		
11			50		
12			60		
13			0		
14		25	20		
15			30		
16		30	40		
17			50		
18	10	-----	60		
19			0		
20		25	20		
21			30		
22		30	40		
23			50		
24			60		
25			0		
26		25	20		
27			30		
28		30	40		
29			50		
30	15	-----	60		
31			0		
32		25	20		
33			30		
34		30	40		
35			50		
36			60		
37			0		
38		25	20		
39			30		
40		30	40		
41			50		
42	20	-----	60		
43			0		
44		25	20		
45			30		
46		30	40		
47			50		
48			60		

Nota. Diseño experimental realizado en tres etapas.

Población

Por la naturaleza del trabajo de investigación estuvo constituido por la formulación de mezclas de harinas compuestas de trigo y quinua para los análisis fisicoquímicos, reológicos y la producción de pan francés en una cantidad de 15 kg.

Muestra

Estuvo referido a la producción de pan francés de los 48 tratamientos estudiados de unidades experimentales de 60 g cada pan y referidas a las formulaciones (Tabla 2). Se trabajó con 9 kg para realizar los análisis fisicoquímicos, reológicos y organolépticos de acuerdo con el diseño experimental (Tabla 1).

Tabla 2

Formulación de masas de pan

Insumos (%)	F1 (*)	F2 (*)	F3 (*)	F4 (*)
HT/HQ	95/5	90/10	85/15	80/20
Levadura	1,5	1,5	1,5	1,5
Sal	1,5	1,5	1,5	1,5
Azúcar	3,0	3,0	3,0	3,0
Manteca	3,0	3,0	3,0	3,0
Mejorador	1,0	1,0	1,0	1,0
Agua	60,2	60,8	62,1	61,8

Nota. (*) T1(5 % de HQ), T2 (10 % de HQ), T3 (15 % de HQ), T4 (20 % de HQ)

Instrumentos de recolección de datos

Se utilizó una ficha de registro de datos de doble entrada de la temperatura de la cámara y del tiempo de fermentación de la masa de pan correspondiente a los tratamientos evaluados y sus repeticiones, para registrar el volumen de la masa fermentada (Tabla 7).

Se elaboró una cartilla de respuestas para la evaluación sensorial mediante una escala hedónica de cinco puntos desde muy bueno a muy malo, realizada para un grupo de 18 jueces, diseñado en base a los atributos de evaluados de aceptabilidad del pan.

Se elaboró fichas de registro de toma de datos del análisis fisicoquímico de harinas y de pruebas reológicas realizadas a las mezclas de harinas en los porcentajes realizados.

Procedimientos estadísticos

Los resultados obtenidos de la medición del volumen de masas fermentadas de tratamientos fueron evaluados mediante un diseño completo al azar con nivel de significancia de 5% haciendo uso del programa

SPSS v.26, para estimar el efecto de las variables independientes, porcentaje de harina de quinua, temperatura y tiempo de fermentación de la masa sobre la variable dependiente, volumen de la masa fermentada.

Los resultados de la prueba de evaluación sensorial de tratamientos fueron procesados con el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) v.26 mediante análisis de variancia de los atributos color, sabor, textura, aspecto general de los tratamientos con un nivel de significancia de 5% para establecer diferencia significativa entre tratamientos y pruebas de Tukey para definir los tratamientos con mayor o menor diferencia mediante el indicador de comparación de Tukey.

Resultados

Análisis fisicoquímico de materias primas

Los resultados del análisis fisicoquímico realizado a las materias primas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3*Composición fisicoquímica de las harinas (en 100 g de la porción comestible)*

Componentes (%)	H. de trigo (*)	H. de Quinua (*)
Humedad	12,10	13,20
Proteína	12,13	15,06
Carbohidratos	73,14	63,94
Grasa	0,63	2,30
Fibra	1,25	3,40
Ceniza	0,75	2,10

Nota. (*) Harina de trigo panificable; (**) Harina de quinua: quinua blanca (variedad Junín).

De los resultados de la tabla 3, se puede observar que la quinua es una fuente importante de proteínas y fibra.

Análisis reológico de las formulaciones de harinas

Se realizó el análisis reológico de las formulaciones en el farinograma dando como resultado los indicadores mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4*Análisis de las formulaciones en el farinograma*

Muestras	Farinograma			
	AA (%)	TD (mm:ss)	EST (mm:ss)	ITM (UB)
T1	60,2	04:53	07:54	79
T2	60,8	03:57	06:21	95
T3	62,1	04:14	05:23	129
T4	61,8	03:40	04:50	129

Nota. AA: Absorción de agua, TD: Tiempo de desarrollo de la masa, EST: Estabilidad, IT: Índice de tolerancia de la mezcla. T1, T2, T3 y T4: 5, 10, 15 y 20 % de sustitución de HT por HQ.

Se realizó el análisis reológico de las formulaciones en el extensograma, donde se muestran los indicadores en la Tabla 5.

Tabla 5*Análisis de los tratamientos en el extensograma*

Tmos	Tiempo de prueba (min)											
	30				60				90			
	En (cm ²)	RE (BU)	E (mm)	Rm (BU)	En (cm ²)	RE (BU)	E (mm)	Rm (BU)	En (cm ²)	RE (BU)	E (mm)	Rm (BU)
T1	117	673	119	781	139	967	103	1091	131	956	116	1025
T2	97	596	111	654	101	868	98	872	109	926	92	947
T3	80	640	95	645	103	909	90	910	94	866	86	866
T4	70	592	85	597	70	685	77	710	70	710	76	710

Nota. EN: Energía, RE: Resistencia a la extensión, E: Extensibilidad, Rm: Máxima resistencia a la extensión. T1 (5% HQ), T2 (10% HQ), T3 (15% HQ), T4 (20% HQ).

De resultados obtenidos en el extensograma, la adición de harina de quinua a las formulaciones muestra una tendencia a reducirse los valores de los indicadores que están relacionados con el volumen de fermentación de la masa como la resistencia a la extensión (RE) y la energía requerida para extender la masa; el tiempo de relajación de la masa, también tiene un efecto de

aumentar los indicadores del extensograma y hay una relación directa con el volumen de fermentación de la masa de pan.

Los resultados de los indicadores del análisis de las formulaciones en el amilograma se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6*Análisis de las formulaciones en el amilograma*

Muestras	Amilografía		
	G0 (°C)	T°G (°C)	Gmax (AU)
T1	61,8	88,0	895
T2	61,4	88,0	866
T3	61,5	87,4	872
T4	62,0	87,1	852

Nota. G₀: Inicio de gelatinización, T°G: Temperatura de gelatinización, Gmax: Máxima gelatinización. T1 (5% HQ), T2 (10 % HQ), T3 (15 % HQ), T4 (20 % HQ).

Los indicadores del amilograma, están relacionados con la estructura del almidón, porcentaje de almidón dañado, actividad enzimática de la alfa-amilasa, temperatura de gelatinización del almidón que afectan la estructura de la miga y volumen de la masa de pan, valores mayores se da con porcentajes menores de harina de quinua en las formulaciones.

Determinación del volumen de la masa panaria

Se evaluó la fermentación de unidades experimentales de 50 g de masa de pan en probetas de 250 mL a temperaturas de 25 y 30 °C. De las formulaciones preparadas, se evaluó el volumen de fermentación de la masa a 0, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos, donde se obtuvo los resultados mostrados en la tabla 7.

Tabla 7*Resultados del volumen (cc) de las unidades de masa en el proceso de fermentación*

Tiempo de fermentación (min)	Temperatura (°C)							
	25				30			
	Harina de Quinua (%)				Harina de Quinua (%)			
	5	10	15	20	5	10	15	20
0	50	50	50	50	50	50	50	50
20	52	53	54	73	86	90	99	90
	53	52	55	72	85	92	100	91
30	58	61	70	90	102	108	112	108
	57	60	72	92	104	109	114	110
40	60	64	76	94	116	121	128	121
	61	65	77	95	118	123	126	124
50	64	70	78	110	130	138	144	140
	66	72	79	112	132	140	145	141
60	69	75	90	119	138	151	154	150
	70	76	92	118	139	152	155	152

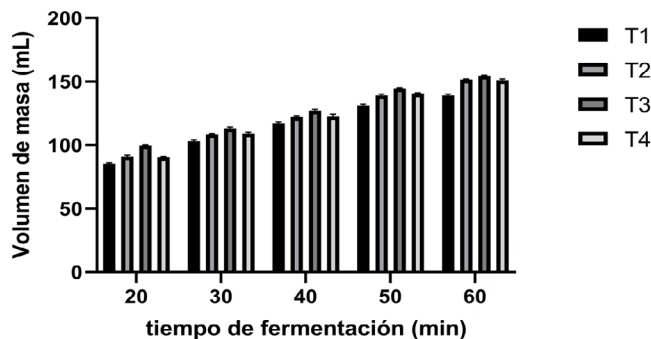
Nota. Se observó que los volúmenes de las masas fermentadas a 30 °C son mayores que los volúmenes de las masas fermentadas a 25°C, por lo tanto, la levadura se adapta mejor a una temperatura de 30°C.

En la figura 1, se muestra el volumen de la masa en el tiempo de fermentación de 20, 30, 40, 50 y 60 minutos, a una temperatura de 30 °C, donde se

observa que la masa de pan con una sustitución de 15 % de HQ se obtiene un mayor volumen en un tiempo de 60 minutos.

Figura 1

Volumen de masa de tratamientos vs tiempo de fermentación a 30 °C



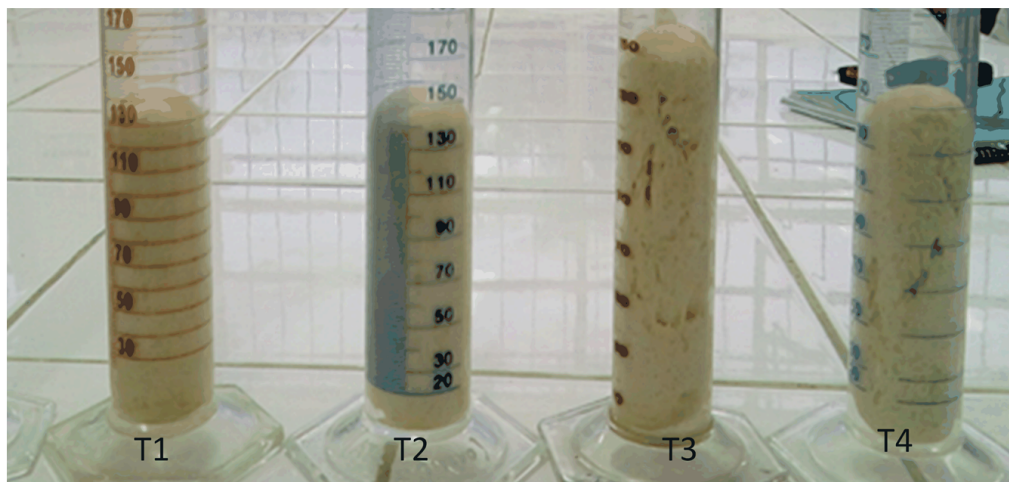
Nota. T1 (5 % HQ); T2 (10 % HQ); T3 (15 % HQ); T4 (20 % HQ).

La figura 2, muestra los volúmenes de fermentación de las formulaciones de la masa de pan en un tiempo de 60 minutos; como se observa el tratamiento

con 15 % de harina de quinua a una temperatura de 30 °C de la cámara de fermentación, resultó con mayor volumen.

Figura 2

Volumen de masa fermentada de tratamientos (a 60 minutos)



Nota. G₀: Inicio de gelatinización, T°G: Temperatura de gelatinización, Gmax: Máxima gelatinización. T1 (5% HQ), T2 (10 % HQ), T3 (15 % HQ), T4 (20 % HQ).

En la tabla 8, se muestra el ANVA los factores principales como porcentaje de harina de quinua, temperatura de la cámara y tiempo de fermentación y los efectos de interacción de los mismos. Se observa que hay diferencia significativa tanto de los factores principales como de los efectos de interacción de harina de quinua, temperatura de cámara y tiempo de fermentación de la masa de pan en el volumen de la masa fermentada.

A un nivel de significancia de 0,5 hay diferencia entre los tratamientos evaluados en cuanto al volumen de la masa fermentada, aceptando la hipótesis nula donde se indica que hay diferencia entre tratamientos o que el porcentaje de harina de quinua en la formulación, temperatura de cámara y tiempo de fermentación mejora el volumen de la masa.

Tabla 8

Análisis de varianza del efecto del porcentaje de harina de quinua, temperatura y tiempo de fermentación en el volumen de la masa panaria

Fuentes de Variabilidad	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F	Sig.
Temperatura	37,683	1	37683,375	37683,375	0,00
H. Quinua	4577,458	3	1525,89	1525,819	0,00
Tiempo	50004,208	5	10000,842	10000,842	0,00
Temperatura*H. Quinua	2818,125	3	939,375	939375	0,00
Temperatura*tiempo	9681,625	5	1936,325	1936,325	0,00
H. Quinua*tiempo	1375,292	15	91,686	91,686	0,00
H. Quinua*tiempo*Temperatura	863,875	15	57592	57,592	0.00
Error	48	48			
Total	107051,96	95	1		

Nota. R cuadrado = 0,999.

De la tabla 9, el tratamiento con 15% de adición de harina de quinua en la masa de pan con una media de 154,5 cc de volumen desarrollado y los tratamientos con 10 y 20% de adición de harina de quinua en la masa

corresponde a 151,5 y 151 cc de volumen de masa fermentada y con tiempos de fermentación de 60 minutos en los tres casos son considerados como los mejores en el desarrollo de volumen de la masa fermentada.

Tabla 9

Prueba de Tukey para comparación de tratamientos en el volumen de la masa fermentada

Ttmos	Comparación de medias
T.236	154,5 a
T.226	151,5 a
T.246	151,0 a
T.235	144,5 b
T.245	140,5 b c
T.225	139,0 c
T.216	138,0 c
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>	
T.215	131,0 d
T.234	127,0 d
T.244	122,5 e
T.224	122,0 e
T.146	118,5 e
T.214	117,0 f
T.233	113,0 g
T.145	111,0 g
T.243	109,0 g
T.223	108,5 g
T.213	108,0 h
T.232	99,5 h
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>	
T.144	94,5 i
T.136	91,0 i
T.143	91,0 i
T.222	91,0 i
T.242	90,5 i
T.112	85,5 i
T.135	78,5 k
T.134	76,5 k
T.126	75,5 k
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>	
T.142	72,5 l
T.125	71,0 l
T.133	71,0 l
T.116	69,5 l
T.115	65,0 m
T.124	64,5 m
T.114	60,5 n
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>	
T.123	60,5 n
T.113	57,5 n
T.132	54,5 o
T.112	52,5 o
T.122	52,5 o
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>	
T.111	50,0 o
T.121	50,0 o
T.131	50,0 o
T.141	50,0 o
T.211	50,0 o
T.221	50,0 o
T.231	50,0 o
T.241	50,0 o

Nota. Se obtiene las medias de la prueba de Tukey, donde se comparan los tratamientos evaluados con un valor de comparación de A.L.S. (Tukey) de 4,2356.

Resultados de evaluación sensorial de los tratamientos

Para la evaluación sensorial de los tratamientos se asignó una puntuación de acuerdo con la aceptabilidad de los jueces haciendo uso de una escala hedónica de 5

puntos, desde muy bueno a muy malo. En la tabla 10, se obtienen los totales y promedios de resultados de la evaluación sensorial realizados por un panel de 18 jueces en los atributos de color, sabor, textura y aspecto general.

Tabla 10

Totales y promedios de Pruebas de evaluación sensorial realizado por 18 jueces

TRATAMIENTOS	ATRIBUTOS							
	Color		Sabor		Textura		Aspecto Gral.	
	Total	Prom.	Total	Prom.	Total	Prom.	Total	Prom.
T1	61	3,39	68	3,78	79	4,39	51	2,83
T2	62	3,44	64	3,56	64	3,56	63	3,50
T3	63	3,50	61	3,39	61	3,39	58	3,22
T4	58	3,22	56	3,11	58	3,22	57	3,17

Nota. Las puntuaciones mayores fueron obtenidas en el sabor y la textura de los panes para los tratamientos T1 y T2, y en color y aspecto general las puntuaciones mayores fueron alcanzadas por los tratamientos T2 y T3.

En la tabla 11, se obtiene la comparación de medias de los tratamientos por la Prueba de comparación

de Tukey en cuanto al color de los tratamientos.

Tabla 11

Prueba de Tukey para comparación de tratamientos en el color del pan

Tratamientos	N	Subconjunto
		1
4	18	3,2222
1	18	3,3889
2	18	3,4444
3	18	3,5000
Sig.		0,5530

Nota. El tratamiento T3 con una media de 3,50 es mejor en cuanto al color comparado con los demás tratamientos y T4 obtiene la menor puntuación con una media de 3,2222.

En la tabla 12, se observa la comparación de medias de los tratamientos mediante la Prueba

de comparación de Tukey en cuanto al sabor de los tratamientos.

Tabla 12

Prueba de Tukey para comparación de tratamientos en el sabor del pan

Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	2
4	18	3,1111	
3	18	3,3889	3,3889
2	18	3,5556	3,5556
1	18		3,7778
Sig.		0,1410	0,2360

Nota. El tratamiento T1 con una media de 3,7778 es mejor en cuanto al sabor seguido del tratamiento T2 y el tratamiento T4 con una media de 3,1111 tiene menor aceptación.

En la tabla 13 se obtiene la comparación de medias en la Prueba de comparación de Tukey en cuanto

a la textura de los tratamientos.

Tabla 13

Prueba de Tukey para comparación de tratamientos en la textura del pan

Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	2
4	18	3,2222	
3	18	3,3889	
2	18	3,5556	
1	18		4,3889
Sig.		0,6030	1,0000

Nota. El tratamiento T1 con una media de 4,3889 es mejor en cuanto a la textura seguido del tratamiento T2 y T3.

En la tabla 14, se observa la Prueba de comparación de medias en la Prueba de Tukey en cuanto

al aspecto general de los tratamientos.

Tabla 14

Prueba de Tukey para comparación de tratamientos en el aspecto general

Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	2
1	18	2,8333	
4	18	3,1667	3,1667
3	18	3,2222	3,2222
2	18		3,5000
Sig.		0,3000	0,4360

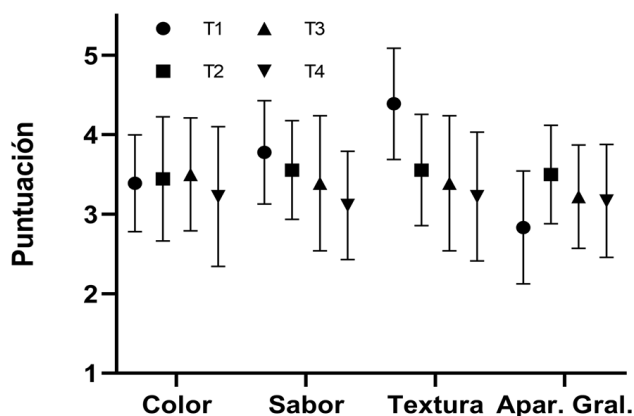
Nota. El tratamiento T2 con una media de 3,50 es mejor en cuanto al aspecto general del pan seguido del tratamiento T3 con una media de 3,2222 y el tratamiento T1 con una media de 2,8333 es el menos aceptado en el aspecto general del pan.

En la figura 3, se muestra la comparación de tratamientos relacionado a los atributos en color, sabor,

textura y apariencia general del pan francés.

Figura 3

Comparación de los tratamientos de la evaluación sensorial en color, sabor, textura y aspecto general



De la Figura 3, el color se ve afectado por la adición de harina de quinua, la puntuación es mayor cuando aumenta hasta 15%, pero desciende con contenidos menores de 20 % de harina de quinua en la formulación, con la misma tendencia de disminuir la

puntuación en la textura o volverse más dura cuando aumenta el porcentaje de harina de quinua y el aspecto general es mejor cuando hay una adición mayor de harina de quinua con una tendencia a disminuir con 20 % de harina de quinua en la formulación.

Figura 4

Horneado de tratamientos después de fermentación de la masa a 30°C



Nota. Se observa el horneado del pan en sus tratamientos después de la fermentación de la masa a 30°C por un tiempo de 60 minutos.

Análisis fisicoquímico del producto final

En la Tabla 15, se muestran la composición fisicoquímica del tratamiento con un contenido de 15% de harina de quinua, 30°C de temperatura en cámara y 60

minutos de fermentación de la masa panaria considerado como el mejor, en el volumen desarrollado, mejores características reológicas de la masa y mejor puntuación en el análisis sensorial.

Tabla 15

Composición fisicoquímica del producto final (En 100 g de la porción comestible)

Composición del pan	Pan experimental (%)	Pan francés comercial (*) (%)
Humedad	25,42	27,0
Proteína	11,84	8,40
Carbohidratos	56,48	63,8
Grasa	2,56	0,20
Fibra	1,36	0,60
Ceniza	2,34	1,50

Nota. (*) (Ministerio de Salud, 1996) MINSAL (1996)

De la Tabla 15, el pan con adición de harina de quinua muestra un 3,44 % más de proteína y 0.76 % más de fibra comparado con el pan francés comercial.

Discusión

Del análisis de harinas

El contenido de proteínas de 15,06 % en la harina de quinua (Tabla 3) se corrobora con lo que indica Xua et al. (2019), donde mencionan que la quinua

tiene un alto contenido de proteínas del orden del 14 al 18 % y su composición en aminoácidos se acerca al equilibrio proteico ideal recomendado por la FAO, rica en histidina, lisina, treonina y metionina que son deficientes en los cereales. Según Aguilar et al. (2020), en comparación con otros cereales, la concentración de proteína de las semillas de quinua, en base seca (16,3%), es mayor que en la cebada (11%), el arroz (7,5%) y el maíz (13,4%). Gutierrez (2022), reporta en granos de quinua contenidos de 16,89 % de proteína y 4,15% de lípidos.

Del volumen de la masa fermentada

De los resultados del análisis de varianza (Tabla 8), la triple interacción de los factores porcentaje de harina de quinua, temperatura y tiempo de fermentación, influyen sobre el volumen de fermentación de las masas como resultado de la diferencia significativa (Figura 1); el tratamiento T3 (15% de HQ) con una temperatura de 30°C se obtienen mayores volúmenes de fermentación, que en los demás tratamientos (Figura 2); la incorporación de 10 g de harina de quinua en la harina de trigo blanco parece tener potencial para formular panes con alto volumen de pan y suavidad (Park y Morita, 2005 como se citó en Gostin, 2019) y características sensoriales aceptables (Chauhan y Eskin, 1992). Para las adiciones de hasta un 15 % de harina de quinua blanca los panes tienen los mayores volúmenes específicos correspondientes a 3,8 mL/g de harina oscura y 2,5 mL/g de harina blanca (Tamba y Popa, 2019), aunque no se precisa la masa inicial ni el tiempo de fermentación. En la elaboración de pan de molde con harina de quinua y tarwi, los altos porcentajes de harina de quinua y tarwi, desarrollan volúmenes bajos provocado por la baja calidad del gluten ya que disminuye el porcentaje de trigo, principal fuente de esta proteína (Gutierrez, 2022). Según Castillo (2021) la cantidad de dióxido de carbono producido por fermentación de la masa y la capacidad de retener este gas en el sistema están directamente relacionadas con el volumen. Para la evaluación de la calidad y funcionalidad de la harina, los ensayos mecánicos empíricos o descriptivos han tenido una aceptación generalizada en la industria del pan, el farinógrafo es una amasadora de registro continuo y el extensógrafo es un instrumento de carga y tensión, instrumentos que describen el comportamiento viscoelástico de la masa (Peña, 2013).

El volumen de fermentación de la masa de pan está en relación directa con la cantidad de agua absorbida (AA) por la masa (T3: 62.1% AA) y el tiempo de desarrollo (TD) de la masa (T3: 4:14 mm:ss); las harinas son más fuertes y el contenido de proteína presente es mayor por tener un mayor contenido de gluten; en la elaboración de panes compuestos trigo-quinua, es necesario adicionar mayores cantidades de agua para obtener un desarrollo de gluten satisfactorio y mejor volumen del pan (Schoenlechner et al., 2010 como se citó en Díaz, 2013); se considera una harina fuerte una harina con 61% de AA y harina débil una harina con 52,9 % de AA (Vásquez, 2007). Al mismo tiempo el volumen de la masa panaria está relacionado con la estabilidad (EST); harinas que tienen una mayor estabilidad (T1: 7:54 y T2: 6:21 mm:ss) son mejores referido al contenido de proteína. 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% (Castillo, 2021). Los valores del índice de tolerancia al mezclado (ITM) de los tratamientos hallados se encuentran entre 79 y 129 UB, indicando que los tratamientos T1 y T2 se

obtuvieron valores de 79 UB y 95 UB mostrando que se encuentran debajo del valor de 115, por lo que no se pueden considerar como harinas débiles; harinas que tienen buena tolerancia a la mezcla tienen un valor bajo de ITM; las harinas fuertes tienen un ITM de 40 UB y harinas débiles tienen un ITM de 115 (Vásquez, 2007), reportado en el análisis del farinograma de tratamientos (Tabla 4).

El volumen de la masa fermentada de pan también está relacionado con la energía (En) requerida para aumentar el volumen (T1 y T2 con valores de 117 y 97 cm²) y la resistencia a la extensión (RE) de la masa fermentada (T1 y T3 con valores de 673 y 640 BU) porque es necesario que la masa de pan tenga la fuerza necesaria para retener las burbujas de gas carbónico producido durante la fermentación de la glucosa por los enzimas presentes en la levadura; los tratamientos T1 y T3 muestran valores de RE por encima de 600, valor importante para ser considerado una harina de calidad panaria, análisis realizado en el extensograma de tratamientos (Tabla 5); es preciso que las harinas panificables posean una determinada fuerza, para producir una pieza de pan bien crecida y de gran volumen, aunque no es deseable que presenten una fuerza demasiado alta, porque ello acarrearía problemas al panificarla, siendo el período de fermentación muy largo (Pérez y García, 2016 como se citó en Loayza, 2017).

Las muestras T1, T2 y T3 dan resultados similares en temperaturas de gelatinización (T^oG) del almidón, pero en los tratamientos T1 y T3 se obtiene los valores de gelatinización máxima (G_{max} 895 y 872 AU) comparados con los demás tratamientos (Tabla 6). Los amilogramas cambian mucho cuando en vez de agua se opera con soluciones que contienen azúcares, sales, proteínas o tensoactivos; en primer lugar, por la retención de agua por los solutos, que disminuye el agua libre para la gelificación y, en segundo lugar, por las interacciones de estos compuestos con el almidón (Primo, 1998). Los gránulos de la quinua son pequeños, menores a 2 μm, pero utilizando calorimetría de barrido diferencial (DSC), se estableció que el proceso de gelatinización del almidón de quinua consumió 2 J/g y gelatinizaba entre 55 y 70 °C, aunque pueden encontrarse diferencias significativas entre las variedades de quinua (Lindeboom et al. 2005 como se citó en García, 2021). La incorporación de harina multigrano (centeno, soya, garbanzo) a la harina de trigo en la elaboración de pan, en las características amilográficas de la masa panaria, disminuye la temperatura de gelatinización en 5,7 °C, el pico de viscosidad y la viscosidad de la pasta fría aumenta (821 a 1,074 UA) lo que indica una fuerte tendencia a la retrogradación por las moléculas de almidón (Arana, 2014). La harina germinada de quinua hace disminuir la temperatura de gelatinización y gelatinización máxima de la mezcla conforme se aumenta su porcentaje de sustitución (Castillo, 2021).

De la evaluación sensorial del pan francés

La evaluación sensorial realizada a los panes, el tratamiento T3 (15 % de HQ) con una media de 3,50 es mejor en cuanto al color comparado con los demás tratamientos (Tabla 11); el tratamiento T1 (5% de HQ) con una media de 3,7778 es mejor en cuanto al sabor seguido del tratamiento T2 (Tabla 12); en los panes de molde obtenidos se observó que a mayor porcentaje de inclusión de harina de quinua cruda y lavada; mayor pérdida de volumen, aumentó en el grosor de la corteza, aumento de color oscuro entre las mezclas, disminución del esponjado de la masa, aumento de olor y sabor característico de la quinua (Avecillas, 2015).

En textura los tratamientos T1, T2 y T3 tienen una buena aceptabilidad (Tabla 13); la incorporación de harina de quinua a nivel de 25 g/100 g y 50 g/100 g en mezclas de quinua/trigo (1,6 g/100 g de sal) aumenta 2 y 3 veces la dureza de la miga, respectivamente, debido a la dilución del gluten por el salvado o la fibra (Iglesias-Puig et al., 2015 como se citó en Gostin, 2019). La prueba hedónica realizada a una elaboración de pan con sustitución de harina de quinua negra, demostró una mayor aceptación por los panelistas para el tratamiento con 85% de harina de trigo y 15% de harina de quinua negra (Catacora, 2019).

En relación con el aspecto general, el tratamiento T2 y T3 (10 y 15% de HQ) son mejores con medias de 3,50 y 3,22 respectivamente (Tabla 14); un pan chuto tradicional de alta demanda con sustitución parcial de quinua y cañihua, en cuanto a la apariencia general el óptimo fue el tratamiento con 17% de quinua 23% de cañihua (Apaza, et al., 2015). Adición mayor de 15 % de harina de quinua en la formulación, se ve afectada la aceptabilidad del pan en cuanto al volumen, color, sabor y aspecto general. En el estudio realizado por García (2011) como se citó en Avecillas (2015), de las tres formulaciones que utilizó con sustitución del 10, 20 y 30%, la mezcla que presentó el mejor comportamiento en la panificación y aceptación sensorial en los panes es la de 10% de harina de quinua y 90% de harina de trigo; en cambio, el pan a base de trigo, 25 % de quinua perlada parece ser el nivel umbral en términos de propiedades reológicas de la masa y aceptabilidad sensorial (Rosell et al., 2009 como se citó en Suárez et al., 2020); por el contrario, se detectó un regusto amargo a niveles más altos de enriquecimiento de quinua (Lorenz y Coulter, 1991 como se citó en Suárez et al., 2020).

El volumen de los panes de molde no varió en forma significativa entre los diversos panes de molde elaborados con incorporación de harina de quinua precocida y suero, pero sí es notoria una ligera diferencia a favor de los panes con incorporación de 12% y 13,9% de harina de quinua, y 6,0% de suero y 3,54% de suero. Así mismo la variación en relación con el control (100% Trigo) de los panes con incorporación

de quinua y suero es bastante significativa (De la Cruz, 2009). Se observa una disminución de la textura en todas las formulaciones, con una tendencia al endurecimiento del pan francés a medida que se aumenta el porcentaje de harina de quinua a partir de 5 a 20%, con una tendencia al aumento de la dureza de la miga (Figura 3). La textura del pan depende de la estructura de la miga y esta se basa mayoritariamente en el número y tamaño de los alveolos, consecuentemente los parámetros de textura dependen directamente de las características de este (número de alveolos, perímetro, circularidad, área, porcentaje de aire) (Tasiguano et al., 2019).

El color de la corteza del pan está relacionado con las reacciones de Maillard y caramelización de azúcares provocadas por la alta temperatura de horneado, el que es detectado por la evaluación sensorial donde se determinó un aumento muy ligero del color con el aumento del porcentaje de harina de quinua en la mezcla (Figura 4). En el sabor, hay una tendencia a la pérdida de sabor del pan con el aumento del contenido de harina de quinua. En general el color de la miga está relacionado con el color de las harinas ya que en el interior de la pieza no se superan los 100 °C (Gómez et al., 2011). Del tratamiento T3 seleccionado y comparado en su composición fisicoquímica con el pan francés comercial (Tabla 15), se observa un mayor contenido de proteínas correspondiente a 4,44% encima del pan francés comercial; según Guardianelli (2022), la quinua posee contenidos de proteína de 12 a 18% un poco más elevado que los cereales convencionales y más ricos en almidón; la caracterización proximal de pan de molde incorporados con harina de quinua en el orden de 35,4% se obtiene productos con 14,32% en el contenido de proteína y para el contenido de grasa 3,4% (Castillo, 2021); en cuanto al contenido de fibra también se ve incrementado respecto al pan francés comercial en 0.76%; según Casanave y Ruiz (2022), la quinua aporta contenidos de fibra de hasta 1,9%.

Conclusiones

1. Un mayor porcentaje de harina de quinua en la formulación redujo el volumen de la masa fermentada, la estabilidad y extensibilidad de la masa debido a una reducción del contenido de gluten, pero aumentó la absorción de agua, el tiempo de desarrollo de la masa, el índice de tolerancia al mezclado y la resistencia a la extensión en las características viscoelásticas de la masa.
2. Un aumento de la temperatura (de 25 a 30°C) y con mayores tiempos de fermentación (de 20 a 60 minutos), aumentó el volumen de la masa de pan hasta 154,5 cm³ como en el tratamiento T3 (15% de harina de quinua, 30°C y 60 minutos de fermentación).
3. De la evaluación sensorial, mayores porcentajes de harina de quinua en la formulación hasta 20%,

oscureció la masa y endureció la textura, pero aumentó el sabor a harina de quinua y mejoró la aceptación general del pan.

Recomendaciones

1. Evaluar otros factores del proceso y producto final que propongan mejoras en la calidad fisicoquímica y aceptabilidad del pan.
2. Caracterizar la masa de pan de productos usando variedades de harinas de quinua negra y roja de diferente composición e importancia nutritiva.
3. Evaluar la aceptabilidad del pan francés mediante métodos instrumentales de perfil de textura.

Referencias

- Aguilar, A., Arias, S., Anaya, S., & Muñoz, D. (2020). Perspectivas tecnológicas y nutricionales de la quinua (*Chenopodium quinoa*): un pseudo cereal andino funcional. *Revista Española de nutrición Comunitaria*, 27(3), 229-235. <https://doi.org/10.14642/RENC.2021.27.3.5381>
- Association of Officiating Analytical Chemists [AOAC]. (2005). *Official method of Analysis* (Décima octava ed.). https://www.researchgate.net/publication/292783651_AOAC_2005
- Arana, A. (2014). *Procesamiento de granos para la elaboración de pan multigrano y estimación del índice glucémico in vitro* [Tesis de Maestría, Universidad de Sonora]. CIAD Repositorio institucional. <http://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/265>
- Arroyave, L., & Esguerra, C. (2006). *Utilización de la harina de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en el proceso de panificación* [Tesis de Titulación, Universidad de La Salle]. Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/137
- Avecillas, R. (2015). *Estudio de la sustitución parcial de harina de trigo con harina de quinua cruda y lavada en la elaboración de pan* [Tesis de Titulación, Universidad Tecnología Equinoccial]. Repositorio UTE. https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5408/1/60106_1.pdf
- Casanave, M. (2022). *Evaluación del aporte nutricional de los granos germinados y sus germinar de quinua, kiwicha y cañihua* [Tesis de Maestría, Universidad Femenina del Sagrado Corazón]. Repositorio UNIFÉ. <http://hdl.handle.net/20.500.11955/964>
- Castillo, W. (2021). *Desarrollo de productos de panificación saludables con alto contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) germinados* [Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Santa]. Digital CSIC. <http://hdl.handle.net/10261/268918>
- Catacora, G. (2019). *Formulación de pan común elaborado a base de harina de trigo (*triticum vulgare*) y harina de quinua negra (*chenopodium petiolare kunth*) y evaluación de la calidad del producto* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Agustín]. Repositorio UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8822>
- Chauhan, G., & Eskin, M. (1992). Dough mixing and breadmaking properties of quinoa-wheat flour blends. *Food Science and Technology*, 27(6), 701-705. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb01241.x>
- Dendy, D., & Dobraszczyk, B. (2003). *Cereales y productos derivados, química y tecnología*. Editoria Acribia S.A.
- Díaz, R. (2013). *Evaluación de la fermentación acidoláctica de la masa para productos de panificación con inclusión de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*)* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/20060/107471.2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, D. (2011). *Desarrollo de un producto de panadería con harina de quinua* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7767/107475.2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, D. (2021). *Determinación de la vida útil del pan de molde libre de gluten con quinua (*Chenopodium quinoa*)* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4617>
- Gómez, M., Jiménez, S., Ruiz, E., & Oliete, B. (2011). Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality. *Food Science and Technology*, 44(10), 2231-2237. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108412>
- Gostin, A. (2019). Effects of substituting refined wheat flour with wholemeal and quinoa flour on the technological and sensory characteristics of salt-reduced breads. *Food Science and Technology*, 114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.>

- Guardianelli, L. (2022). *Mejora nutricional de harinas de amaranto y quinoa. Aplicaciones en panes de trigo saludables* [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Plata]. SEDICI UNLP. <https://doi.org/https://doi.org/10.35537/10915/135132>
- Gutierrez, C. (2022). *Elaboración de pan de molde con sustitución parcial de harina de quinua y tarwi* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5393?show=full>
- Gutierrez, S. (2022). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales en un producto colombiano de panificación a base de queso con inclusión parcial de harina y almidón de quinua para fortalecer la cadena productiva en Cundinamarca* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/51490>
- Loayza, M. (2017). *Caracterización reológica de panes tradicionales enriquecidos con semilla y harina de chia negra* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4589>
- Ministerio de Salud [MINSA]. (1996). *Tablas Peruanas de Composición de Alimentos* (C. N. Nutrición, Ed.). <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1652.pdf>
- Ohimain, E. (2015). Avances recientes en la producción de trigo parcialmente sustituido y pan sin trigo. *European Food Research Technology*, 240, 257–271. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00217-014-2362-1>
- Pascual, G. (2010). Sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) por harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.), usando el método directo y esponja y masa, en la elaboración de pan. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 76(4), 377-388. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371937619008>
- Primo, E. (1998). *Química de los alimentos*. Editorial Síntesis S.A.
- Rodríguez-Sandoval, E., Lascano, A., & Sandoval, G. (2012). Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinua y papa en las propiedades termo mecánicas y de panificación de masas. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación científica*, 15(1), 199 - 207. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v15n1/v15n1a21>
- Suárez, D., Cardone, G., Buratti, S., & Pagani, M. (2020). Sprouting as a pre-processing for producing quinoa-enriched bread. *Journal of Cereal Science*, 96(11). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103111>
- Taciguano, B., Villarreal, C., Schmiele, M., & Vernaza, M. (2019). Implementación de una línea de producción de pan a base de harina de quinua en panadería «LA DELICIA» en la ciudad de Ambato. *Información Tecnológica*, 30(3), 167-178. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300167>
- Tamba, R., & Popa, C. (2019). Assessment of quinoa flours effect on wheat flour dough rheology and quality. *Food Technology*, 43(2), 173-188. <https://doi.org/https://doi.org/10.35219/foodtechnology.2019.2.12>
- Vásquez, L. (2007). *Manual de tecnología del trigo. Control de calidad y elaboración de productos*. Editorial AGT Editor S.A.
- Xua, X., Luo, Z., Yang, Q., Xiao, Z., & Lu, X. (2019). Effect of quinoa flour on baking performance, antioxidant properties and digestibility of wheat bread. *Food Chemistry*, 294, 87-95. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.037>