



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

EFFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINA
DE QUINUA (*Chenopodium quinoa willd*), TIEMPO Y TEMPERATURA DE
FERMENTACIÓN EN EL VOLUMEN DE LA MASA Y CALIDAD DEL PAN

FRANCÉS

Línea de investigación:

Nutrición humana y seguridad alimentaria

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ciencias de los Alimentos

Autor:

Trasmonte Pinday, Wilfredo

Asesor:

Jave Nakayo, Jorge Leonardo
(ORCID: 0000-0003-3536-881X)

Jurado:

Zambrano Cabanillas, Abel Walter
Marin Machuca, Olegario
Zamora Talaverano, Noé Sabino

Lima - Perú

2023





Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSTGRADO

**EFFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINA
DE QUINUA (*Chenopodium quinoa willd*), TIEMPO Y TEMPERATURA DE
FERMENTACIÓN EN EL VOLUMEN DE LA MASA Y CALIDAD DEL PAN
FRANCÉS**

Línea de Investigación: Nutrición humana y seguridad alimentaria

Tesis para optar el Grado Académico de

Doctor en Ciencias de los Alimentos

Autor

Trasmonte Pinday, Wilfredo

Asesor

Jave Nakayo, Jorge Leonardo

ORCID: 0000-0003-3536-881X

Jurados

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Marin Machuca, Olegario

Zamora Talaverano, Noé Sabino

Lima - Perú

2023

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres: José del Carmen (†) y Felícita (†);
a mis hermanos, a mi esposa Yoni y a mi hija Mariel Yoli
Felicia.

AGRADECIMIENTO

- A los docentes del doctorado de la UNFV por impartir sus experiencias y conocimientos en el periodo del doctorado.
- A la Escuela Profesional de Ing. Agroindustrial de la UNS-Chimbote y a la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la UNSCH-Ayacucho, por acceder en la atención de los análisis llevados a cabo en sus instalaciones.
- Al asesor Dr. Jorge Leonardo JAVE NAKAYO, docente del doctorado de la UNFV, por sus consejos y orientaciones en el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE

	Pág.
Carátula	i
Dedicatoria	ii
ÍNDICE	iv
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	01
1.1 Planteamiento del problema	01
1.2 Descripción del problema	02
1.3 Formulación del problema	03
1.4 Antecedentes	04
1.5 Justificación de la investigación	06
1.6 Limitaciones de la investigación	07
1.7 Objetivos	08
1.8 Hipótesis	08
II: MARCO TEÓRICO	09
2.1 Marco conceptual	09
2.1.1 La quinua	09
2.1.2 El trigo	10
2.1.3 El pan	11
2.1.4 Operaciones de elaboración de pan	11
2.1.5 Materias primas utilizadas en la elaboración de pan	11
2.1.5.1 Harina	11
2.1.5.2 Levadura	12
2.1.5.3 Sal	12

2.1.5.4 Grasa	12
2.2 Proceso de panificación	12
2.2.1 Amasado	12
2.2.2 Fermentación	13
2.2.3 Cocción del pan	13
2.3 Harinas compuestas	14
2.3.1 Utilización de harinas compuestas en la elaboración de pan	14
2.3.2 Materias primas utilizadas en productos elaborados con harinas compuestas	15
2.4 Pruebas reológicas de harinas	16
2.4.1 Farinógrafo	16
2.4.2 Extensógrafo	17
2.4.3 Amilógrafo	18
2.5 Bases teóricas especializadas sobre el tema	19
2.6 Marco Conceptual	20
2.6.1 Análisis reológico de harinas	20
2.6.2 Evaluación sensorial	20
2.6.3 Fermentación de la masa panaria	21
2.6.4 Gluten	21
2.6.5 Harina	21
2.6.6 Harina sucedánea	21
2.6.7 Levadura	21
2.6.8 Pan	21
2.6.9 Pan de quinua	22
2.6.10 Sustitución de harina	22
2.6.11 Sustitución de harina por harina de quinua	22

2.6.12 Temperatura de fermentación	22
2.6.13 Textura del pan	22
2.6.14 Tiempo de fermentación	23
2.6.15 Volumen de masa panaria	23
III. MÉTODO	24
3.1. Tipo de investigación	24
3.2 Población y muestra	24
3.3 Operacionalización de variables	25
3.3.1 Definición de variables	25
3.4 Instrumentos	25
3.5 Procedimientos	26
3.6 Análisis de datos	28
IV. RESULTADOS	29
4.1 Análisis fisicoquímico de las materias primas	29
4.2 Determinación del análisis reológico	29
4.2.1 Análisis en el farinógrafo	29
4.2.2 Análisis en el extensógrafo	33
4.2.3 Análisis en el amilógrafo	34
4.3 Determinación del volumen de la masa panaria	36
4.4 Resultados de la evaluación sensorial de los panes	39
4.5 Contrastación de hipótesis	42
4.5.1 Del porcentaje de sustitución de harina, temperatura y tiempo de fermentación en el volumen de la masa panaria	42
4.5.2 De la aceptabilidad del pan de los tratamientos	45
4.5.3 Análisis fisicoquímico del producto final	51

4.6 Análisis e interpretación	52
4.6.1 De la sustitución de HT por HQ, temperatura y tiempo de fermentación en el volumen de la masa fermentada	52
4.6.2 De la temperatura y el tiempo de fermentación de masa de pan	52
4.6.3 De la aceptabilidad del pan elaborado en los tratamientos evaluados	53
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	54
5.1 Del análisis de harinas	54
5.2 Del volumen de la masa fermentada	54
5.3 De la evaluación sensorial del pan francés	57
VI. CONCLUSIONES	60
VII. RECOMENDACIONES	61
VIII. REFERENCIAS	62
IX. ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Variables independientes y dependientes	26
Tabla 2. Diseño experimental de la investigación	27
Tabla 3 Composición fisicoquímica de las harinas (En 100 g de la porción comestible)	29
Tabla 4 Resultados de formulaciones en el farinograma	30
Tabla 5 Análisis en el extensograma de tratamientos	33
Tabla 6 Análisis en el amilograma de tratamientos	34
Tabla 7 Formulación de masas panarias	36
Tabla 8 Resultados del volumen de las unidades de masa en el proceso de fermentación	37
Tabla 9 Ponderación de la evaluación	39
Tabla 10 Resultados de la evaluación sensorial en el color	39
Tabla 11 Resultados de la evaluación sensorial en el sabor	40
Tabla 12 Resultados de la evaluación sensorial en la textura	41
Tabla 13 Resultados de la evaluación sensorial en el aspecto general	42
Tabla 14 Análisis de varianza del efecto del porcentaje de harina de quinua, temperatura y tiempo de fermentación en el volumen de la masa panaria	43
Tabla 15 Prueba de Tukey para comparación de tratamientos en el volumen de la masa fermentada	44
Tabla 16 Análisis de varianza de la aceptabilidad en el color	45
Tabla 17 Prueba de Tukey para comparación de tratamientos en el color del pan	46
Tabla 18 Análisis de varianza de la aceptabilidad en el sabor	47
Tabla 19 Prueba de Tukey para comparación de tratamientos en el sabor del pan	47
Tabla 20 Análisis de varianza de la aceptabilidad en la textura	48
Tabla 21 Prueba de Tukey para comparación de tratamientos en la textura	48

Tabla 22 Análisis de varianza de la aceptabilidad en el aspecto general	49
Tabla 23 Prueba de Tukey para comparación de tratamientos en el aspecto general	50
Tabla 24 Composición fisicoquímica del producto final (En 100g de la porción comestible)	52

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1 Porcentaje de HQ en la mezcla vs Capacidad de AA de la masa	31
Fig. 2 Porcentaje de HQ de la mezcla vs Tiempo de desarrollo y estabilidad de la masa.	32
Fig. 3 Amilograma de los tratamientos por sustitución de HT por HQ	35
Fig. 4 Volumen de masa de tratamientos vs tiempo de fermentación a 30 °C	38
Fig. 5 Volumen de masa fermentada de tratamientos (a 60 minutos)	38
Fig. 6 Comparación de los tratamientos de la evaluación sensorial en color, sabor, textura y aspecto general	50
Fig. 7 Horneado de tratamientos después de fermentación de la masa a 30°C	51
Fig. 8 Análisis en el farinograma del tratamiento con 5% de sustitución de harina de quinua	72
Fig. 9 Análisis en el farinograma del tratamiento con 10 % de sustitución de harina de quinua	73
Fig. 10 Análisis en el farinograma del tratamiento con 15 % de sustitución de harina de quinua	74
Fig. 11 Análisis en el farinograma del tratamiento con 20 % de sustitución de harina de quinua	75
Fig. 12 Análisis en el extensograma de tratamiento con 5 % de sustitución de harina de quinua	76
Fig. 13 Análisis en el extensograma de tratamiento con 10 % de sustitución de harina de quinua	77
Fig. 14 Análisis en el extensograma de tratamiento con 15 % de sustitución de harina de quinua	78
Fig. 15 Análisis en el extensograma de tratamiento con 20 % de sustitución de	

harina de quinua	79
Fig. 16 Análisis de amilograma de tratamiento con 5% de sustitución de harina de quinua	80
Fig. 17 Análisis de amilograma de tratamiento con 10% de sustitución de harina de quinua	81
Fig. 18 Análisis de amilograma de tratamiento con 15 % de sustitución de harina de quinua	82
Fig. 19 Análisis de amilograma de tratamiento con 20 % de sustitución de harina de quinua	83
Fig. 20 Farinógrafo de Brabender utilizado para análisis de harinas	86
Fig. 21 Extensógrafo de Brabender utilizado para análisis de harinas	86
Fig. 22 Amilógrafo de Brabender utilizado para análisis de harinas	87
Fig. 23 Volumen de masa fermentada de tratamientos (a 30°C)	87
Fig. 24 Volumen de la masa fermentada de los tratamientos (a) y (b)	88

Resumen

La investigación tuvo como objetivo determinar el porcentaje de harina de quinua, el tiempo y la temperatura de fermentación que influyen en el volumen de la masa fermentada y aceptabilidad del pan francés. El método consiste en la formulación, análisis de harinas y análisis reológico de las mezclas, determinándose, en el farinógrafo: el índice de absorción de agua, tiempo de desarrollo, estabilidad, índice de tolerancia de mezclado; en el extensógrafo: la energía de mezclado, resistencia a extensión y extensibilidad y en el amilógrafo: inicio de gelatinización, temperatura de gelatinización y 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, quinua, temperatura, fermentación, pan,

Abstract

The research had as objective determine the percentage of quinoa flour, fermentation time and temperature that influence the volume of sourdough and acceptability of French bread. The method consists of the formulation, flour and rheological analysis of mixtures, determining, in the farinograph: water absorption index, development time, stability, mixing tolerance index; in the extensograph: mixing energy, resistance to extension and extensibility; and in the amylograph: onset of gelatinization, gelatinization temperature and maximum gelatinization. Formulation development consisted of a 4*2*6 factorial arrangement in percentages of quinoa flour (5, 10, 15 and 20 %), temperatures (25 and 30°C) and fermentation times (0, 20, 30, 40, 50 and 60 minu), the volume of 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-biased panel of 18 judges. The results were processed using SPSS v.26 software from IBM; the statistical analysis was performed by means of 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% of quinoa flour, 30°C and 60 minutes of fermented dough, resulted in a higher volume of bread. From the acceptability, the formulation with 15% of quinoa flour scored obtained the best score.

Keywords: flour, quinoa, temperature, fermentation, bread.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

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 la harina de trigo, pero muchas de las harinas alternativas tienen propiedades que complementan al gluten” (Ohimain, 2015, p.308), 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;

En la investigación se planteó como objetivos, 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.

1.2 Descripción del problema

En el Perú la producción de alimentos de origen vegetal es diversa donde se tienen alimentos que tienen importancia nutritiva donde son poco o no aprovechados y que tienen capacidad para poder ser industrializados. La quinua es un recurso de los andes peruanos que

en los últimos años ha mejorado su producción y que contiene un elevado valor nutricional que no se aprovecha para su industrialización.

El trabajo de investigación es importante porque no hay un estudio donde se evalúe el desarrollo de la masa en la fermentación por sustitución de harina de trigo por harina de quinua del pan francés y la forma de cómo influye en el volumen y la calidad del producto.

1.3 Formulación del problema

En el trabajo de investigación se plantea determinar la formulación que relacionen las características de la mezcla de harina de trigo y quinua en las propiedades reológicas, evaluar la relación de tiempo, temperatura de fermentación en el volumen de la masa fermentada y aceptabilidad del producto final en sus atributos de textura, color, sabor y aspecto general del pan.

La investigación es importante porque a través de pruebas reológicas de mezclas de harina de trigo con harina de quinua se puede determinar la capacidad panaria de la masa, decidir el tipo de harina destinada a la elaboración de pan a través de sus características de calidad y corroborar el tipo de productos a obtener.

De acuerdo con la descripción del estudio para la elaboración de pan francés, se planteó en el presente trabajo de investigación los siguientes problemas:

Problema principal

¿En qué medida el porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de quinua, el tiempo y la temperatura de fermentación influyen en el volumen de la masa fermentada y aceptabilidad del pan francés?

Problemas específicos

a. ¿Cómo se relaciona el porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de quinua, el tiempo y la temperatura de fermentación con el volumen de la masa fermentada de pan?

b. ¿Cómo influye la sustitución parcial de harina de trigo por harina de quinua en la aceptabilidad del pan?

1.4 Antecedentes

Se ha realizado trabajos de investigación referentes a mezclas de harina de trigo (HT) y harina de quinua (HQ) en diferentes productos de panificación con la finalidad de obtener un producto de mejor calidad nutritiva, evaluando sabor, color, volumen, características físicas, calidad de conservación y aceptación sensorial.

García (2011), dice:

“La sustitución de parte de la HT con harinas de cultivos andinos, permite mejorar el valor nutritivo del pan y de otros productos elaborados, con un ahorro de divisas por importación de trigo y se logra dar impulso a la agricultura e industria local por la creación de una demanda cada vez mayor de productos nativos (...). La utilización de mezclas de HQ de la variedad Nariño con HT 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 HQ y se presentaron algunos sabores característicos propios de la quinua con un cambio en el volumen” (p.1).

Rodríguez y Sandoval (2012) señalan:

“Se ensayaron porcentajes de sustitución de 10 y 20 % para panificación con harina de quinua y se evaluaron las características físicas de peso, altura, ancho y volumen en el producto final (...), donde la HQ presentó menores valores de asentamiento y estabilidad de la cocción, lo cual, es un buen indicador de conservación del pan” (p.199).

En gran parte de los países andinos se presenta una gran diferencia entre la producción y la demanda del grano para atender las necesidades nacionales de harina de trigo, destinadas a la panificación.

Lorenz y Coulter (1991) como se citó en Rodríguez y Sandoval, (2012) indican:

“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” (p.200).

El empleo de “harina de quinua para la producción de pan, tiene muy buenos resultados, con sustituciones menores al 10%” (Lorenz y Coulter, 1991; Chauhan et al. 1992; Morita et al. 2001; Park et al. 2005; Rosell et al. 2009 como se citó en Rodríguez y Sandoval, 2012, p.200).

Arroyave y Esguerra (2006), dicen 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).

Álvarez y Tusa (2009), dicen:

“En la elaboración de pan dulce de quinua, con porcentajes de sustitución de 18% en la mezcla se obtienen mejores resultados, y a porcentajes más altos de harina de quinua no permite un buen desarrollo de la masa de pan, dándole una elasticidad baja que influye también en el peso y volumen final del producto (...). En lo que respecta a la calidad del pan precocido y final, los dos tratamientos analizados contienen 12,43 y 13,01 % de proteína” (p.93).

Llerena (2010), menciona:

“La quinua posee una proporción importante del aminoácido lisina que duplica el valor contenido de otros cereales y ha sido la base de suplementar las harinas de trigo

y quinua a fin de ofrecer una galleta con un contenido importante de este aminoácido” (p.1).

Pascual y Zapata (2010), 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).

ROJAS, et al (2010) dicen:

“Con miras a mejorar la calidad y el aporte nutricional en los productos alimenticios empleando quinua, se estudió la elaboración de un producto horneado (chifón) compuesto por harina de trigo y harina de quinua que permita maximizar la textura, sabor y el volumen” (p.1).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) como la Organización Mundial de la Salud (OMS), califican a la quinua (*Quenopodium quinoa* Wild) como un alimento único por su altísimo valor nutricional ya que puede sustituir las proteínas de origen animal, debido a su balance de proteínas y nutrientes, cercano al ideal para el ser humano (FAO, 2013).

1.5 Justificación de la investigación

Se justifica 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; Las importaciones de trigo para la industria de la panificación se podrían reducir utilizando otros recursos amiláceos, como la quinua y de lograr dar un impulso a la agricultura en la producción de un recurso importante de la región como es la quinua con una mayor demanda, como también a incentivar la producción de quinua y generar un mayor empleo a los pobladores de bajos recursos económicos con mayores beneficios para facilitar el desarrollo de la región que promueva la difusión y

apropiación de esta innovación tecnológica para alcanzar nuevos logros con la incorporación de quinua, que pueden potenciarse a través de la transformación y conservación con calidad a las demandas de la sociedad.

La importancia del aprovechamiento de la harina de quinua en la formulación de pan creará alternativas de cultivo sostenido, industrialización y comercialización en la población, siendo ellos los beneficiarios primarios en generar ingresos y posibilidades de encontrar mercado en sus productos; además la producción de pan aportará al consumidor los componentes y nutrientes necesarios para mejorar la salud de pobladores de bajos ingresos económicos y de los grupos de interés.

Tomando en consideración lo expuesto, se propuso en esta investigación, determinar el perfil termo mecánico de las formulaciones de harinas y las características del pan elaborado con una sustitución parcial de harina de trigo por harina de quinua.

En la investigación, se planteó como objetivos, 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. Los porcentajes de sustitución que se aplicaron fueron en función a los niveles o porcentajes del diseño experimental. Las propiedades antes mencionadas fueron evaluadas según la metodología que se propuso en el proyecto.

1.6 Alcances y limitaciones

Alcances

Se cuenta con todos los equipos y materiales necesarios para análisis de harinas y elaboración de pan.

Limitaciones,

No se tuvo al alcance los equipos de análisis reológicos como farinograma, extensograma y amilograma para determinar el comportamiento de masa de harina en el

mezclado, las propiedades elásticas y de extensibilidad de la masa y las propiedades de gelatinización del almidón, estos análisis reológicos se realizaron en las instalaciones de la Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote.

1.7 Objetivos

✓ Objetivo general

Evaluar el porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de quinua, la temperatura y tiempo de fermentación que influye en el volumen de la masa fermentada y aceptabilidad del pan.

✓ Objetivos específicos

- a. Calcular el porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de quinua, la temperatura y el tiempo de fermentación que afectan el volumen de la masa fermentada del pan.
- b. Determinar el porcentaje de harina de trigo por harina de quinua que influye en la aceptabilidad del pan.

1.8 Hipótesis

✓ Hipótesis principal

La sustitución parcial de harina de trigo por harina de quinua, la temperatura y el tiempo de fermentación mejora el volumen de la masa fermentada y la aceptabilidad del pan.

✓ Hipótesis específicas

- a. La sustitución parcial de harina de trigo por harina de quinua, la temperatura y el tiempo de fermentación mejora el volumen de la masa fermentada del pan.
- b. La sustitución parcial de harina de trigo por harina de quinua mejora la aceptabilidad del pan.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Conceptual

2.1.1 *La quinua*

“La quinua no es un cereal, por pertenecer a la familia de las Quenopodiaceas, mientras que todos los cereales pertenecen a la familia de las Gramineas, sin embargo, puede consumirse de la misma forma que los cereales” (Arrollave y Esguerra, 2006, p.31).

De la producción total de quinua, se cultiva en un 70 % en Puno y en otras regiones andinas como Junín; se está produciendo quinua en la costa con una producción de seis mil kilogramos por hectárea y se espera sea un cultivo alternativo del arroz que necesita mucha agua, en cambio, la quinua se adapta a climas áridos y salinos y requiere de poco líquido. Se espera incrementar la producción de cereales y granos andinos, mejorar la calidad, crear nuevas fuentes de trabajo, aumentar la rentabilidad de la tierra, entre otros factores (Gómez, 2008).

Park & Morita (2005) como se citó en Rodríguez- Sandoval *et al* (2012), dicen:

“La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un pseudocereal originario de Sudamérica y se cultiva, principalmente, en Perú, en Bolivia, en Ecuador y en el sur de Colombia. Existe un especial interés en este pseudocereal, debido a su alto contenido en proteína y minerales” (p.200).

Lorenz & Coulter (1991) como se citó en Rodríguez- Sandoval *et al*, (2012) mencionan:

“Su composición proximal varía con el cultivar, pero, en general, 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 de aminoácidos es mejor que en el trigo y el maíz, porque la lisina, principal aminoácido limitante, se muestra en cantidades considerables” (p.200).

“Prevalecen diferentes investigaciones, en las cuales, se ha empleado la harina de quinua para la producción de pan, teniendo muy buenos resultados, con sustituciones menores al 10%” (Lorenz & Coulter, 1991; Chauhan et al. 1992; Morita et al. 2001; Park et al. 2005; Rosell et al. 2009 como se citó en Rodríguez- Sandoval *et al*, 2012, p.200).

American Association of Cereal Chemists, (2000) como se citó en Arrollave y Esguerra (2006) dicen:

“La quinua, es una planta precolombina de la familia de la Quenopodiáceas cuyo nombre científico es *Chenopodium quinoa* Willd; tiene tallos nudosos y velludos de 0,6 a 1,2 metros de alto, hojas semejantes a las de caña común, flores pequeñas hermafroditas en racimos o panículas largas con estambres de 2 a 3 estigmas, las semillas están cubiertas por el cáliz que es algo anguloso” (p.31).

2.1.2 El trigo

“En la mayoría de los países Andinos existe un amplio desbalance entre la producción y la demanda del grano para abastecer las necesidades internas de harina de trigo, utilizada en panificación. Las principales causas son la falta de tierras adecuadas para el cultivo del cereal, los bajos rendimientos, los precios internacionales fluctuantes, los subsidios y la tecnología de los países desarrollados” (Henao-Osorio & Aristizábal-Galvis, 2009 como se citó en por Rodríguez- Sandoval et al, 2012, p.200). “Una alternativa para reemplazar parte de estas importaciones sería sustituir la harina de trigo, utilizada en productos de panificación, por harinas provenientes de otros recursos amiláceos, como cereales diferentes, raíces, tubérculos y leguminosas; sin embargo, las propiedades específicas de la harina de trigo la hacen indispensable en la preparación de productos aireados, tales como el pan, por la habilidad de sus proteínas (gluten) para formar una red continua, que se puede extender y retener burbujas de gas, producidas durante la fermentación” (Scanlon & Zghal, 2001 como se citó en Rodríguez- Sandoval et al, 2012, p.200).

2.1.3 El pan

“El pan es un producto obtenido por la cocción de una masa fermentada con diferente proceso de elaboración” (Alcázar, 2002 como se citó en Payehuanca y Matos, 2011, p.1) “El pan es un alimento básico que se elabora cocinando una mezcla de harina o grano molido, agua o leche y varios ingredientes más; la harina puede ser de trigo, quinua, centeno, cebada, maíz, arroz y soja; dependiendo de los ingredientes utilizados el pan puede ser con levadura o ácido. El primero se hace combinando un agente que produce la fermentación y subida de pan, en general levadura con el resto de los ingredientes, normalmente azúcar, sal y grasa además de la harina y el líquido; la levadura actúa en el proceso de fermentación, generando diminutas burbujas de un gas, dióxido de carbono, en la mezcla o masa, incrementando su volumen o haciéndola ligera y porosa” (Ricaute y Polania, 1996 como se citó en Arrollave y Esguerra, 2006, p.45).

2.1.4 Operaciones de elaboración de pan

“Entre las principales operaciones de elaboración está el amasado y la fermentación; al añadir agua a la harina de trigo, se forma una masa por hidratación de las proteínas gliadina y glutenina presentes en el gluten, las cuales otorgan la viscosidad, elasticidad y cohesividad” (Coultate, 2007 como se citó en Payehuanca y Matos, 2011, p.1). “La fermentación se lleva a cabo por la respiración aerobia de la levadura la cual tiene las funciones de favorecer la maduración de la masa y producir gas para airear la masa y el pan” (Quaglia, 1991 como se citó en Payehuanca y Matos, 2011, p.1).

2.1.5 Materias primas utilizadas en la elaboración de pan

2.1.5.1 Harina. Para la panificación se necesita harina de una mezcla de trigos con adecuado porcentaje de trigo fuerte. La buena harina para panificación se caracteriza por tener:

- Proteínas en cantidad adecuada y que cuando se hidrata produce el gluten que es beneficioso respecto a la elasticidad, resistencia y estabilidad.
- Propiedades beneficiosas de gasificación y actividad amilásica.
- Contenido de humedad, no superior a un 14 % para tener seguridad en el ensilaje y color satisfactorio.

2.1.5.2 Levadura. La levadura de panificación es una raza diferente de la de cervecería; se utiliza bien fresca o bien secada. La cantidad utilizada está relacionada en forma inversa con la duración de la fermentación, los sistemas de más larga duración aplican temperaturas algo más bajas a la masa. La actividad de la levadura se acelera con la temperatura y la cantidad a utilizar es menor, por tanto, la temperatura de la masa aumenta dentro de un proceso con tiempo fijo.

2.1.5.3 Sal. Se utiliza para desarrollar sabor, también provoca un endurecimiento del gluten y una masa menos pegajosa. La sal reduce la velocidad de fermentación, por lo cual, en ciertas ocasiones, su adición se posterga hasta que la masa halla fermentado parcialmente. La cantidad de sal que se agrega es de 1,8 – 2,1 % del peso de la harina, que representa en el pan una concentración de 1,1 – 1,4 %.

2.1.5.4 Grasa. Si se añade la grasa a razón de 1% aproximadamente del peso de la harina, mejora el volumen de la masa, disminuye la dureza de la corteza y genera paredes más finas en las celdillas de la miga, resultando un pan con una textura más tierna y con mejores características al corte en el producto.

2.2 Proceso de panificación

2.2.1 Amasado

Se recomienda 55 – 61 partes de agua por 100 partes de harina para conseguir una masa de consistencia estándar, proporción que aumenta con los contenidos de proteína y

almidón lesionados de la harina. Por esto, las harinas de trigo fuerte (con un contenido mayor de proteínas) y de trigo duro (con mayor contenido de almidón lesionado), necesitan más agua que las harinas de trigo débil (más pobres en proteína) o blando (almidón menos lesionado) para obtener la masa de consistencia estándar.

Es importante particularmente en las fábricas de pan, mantener constante la consistencia de la masa. Esto se debe conseguir ajustando en forma automática o semiautomática la adición de agua (Kent, 1993).

2.2.2 Fermentación

Los enzimas principalmente implicados en la fermentación panaria, son los que actúan sobre los carbohidratos: alfa-amilasa y beta-amilasa con frecuencia citados en conjunto con el nombre de diastasa en la harina; y la maltasa, invertasa y complejo zimasa en levadura.

El almidón de la harina se degrada al disacárido maltosa por los enzimas amilasa; la maltosa se fracciona a glucosa (dextrosa) por la maltasa. La glucosa y fructosa se fermentan a dióxido de carbono y alcohol por el complejo zimasa.

Algunos de los granos de almidón de la harina se lesionan durante la molturación. Se cree que las amilasas de la harina únicamente son capaces de actuar sobre el almidón lesionado o disponible. Por lo tanto, es esencial que la harina contenga suficiente almidón alterado para suministrar azúcar durante la fermentación. Sin embargo, los niveles excesivos de almidón alterado tienen efecto perjudicial en la calidad del pan, el volumen de la pieza disminuye y el pan pierde su aspecto atractivo (Kent, 1993).

2.2.3 Cocción del pan

“La cocción del pan da origen a un producto transformado que es auto estable, nutritivo y apetitoso (...). El proceso de cocción gelatiniza el almidón y lo hace digestible

(...). Con respecto a la aireación, la cocción transforma la masa fermentada con una estructura de espuma, conteniendo celdillas discontinuas de gas, en una estructura esponjosa de celdillas interconectadas (...). El horneado es un método de cocción por calor seco mediante radiación desde las paredes del horno y de convección del aire del horno (...). La cocción deshidrata rápidamente la superficie del producto, haciendo que la temperatura exceda de 100 °C y permitiendo que ocurran las reacciones de pardeamiento o tostado que ocurre en la superficie (...). Cuando la temperatura del centro de la masa llega hasta 90 a 92 °C se alcanza el punto final de cocción (...). Algunos panaderos reducen la evaporación superficial añadiendo vapor de agua al horno, con este procedimiento se reducen las pérdidas de peso de un 10% por pieza” (Dendy & Dobraszczyk, 2003, p.273).

2.3 Harinas compuestas

2.3.1 Utilización de harinas compuestas en la elaboración de pan

La fabricación de pan sustituyendo solamente parte de la harina de trigo en lugar de sustituirla totalmente no es una idea nueva. Estos esfuerzos se han practicado generalmente en épocas de escases de trigo. En la antigüedad, el sustituto más frecuentemente utilizado fue la cebada, de forma que el pan que contenía grandes cantidades de cebada, en ocasiones, se le consideraba como el pan del pobre. Como en los primeros tiempos de escases, hubo que utilizar productos diferentes del trigo en la elaboración del pan, se escogió la cebada como el principal cereal a mezclar con el trigo, e incluso se utilizaron ocasionalmente las patatas, el arroz y el maíz.

La utilización de harinas compuestas está indicada cuando sea posible utilizar alguna parte del trigo de producción propia o pueda importarse sin un gasto económico excesivo y cuando pueda mezclarse con harina de otras fuentes para la elaboración de pan.

El trigo contiene una proteína, el gluten, cuyo adecuado esponjamiento da lugar a un pan con una textura única y muy deseada. Para la panificación se requiere que la harina esté correctamente molida y proceda de un trigo con una cantidad de proteína elevada.

2.3.2 Materias primas utilizadas en productos elaborados con harinas compuestas

Las técnicas desarrolladas parten de la base de que el esponjamiento del pan se debe al gluten de trigo. De ahí que, al adicionar otras harinas, el gluten de trigo debe hacer su función correctamente para producir una buena masa. En los sistemas modernos occidentales que utilizan el proceso de fermentación tradicional, se precisa la utilización de trigos fuertes para obtener la mejor calidad del pan; pueden utilizarse trigos más débiles en los sistemas que no requieren periodos de fermentación y en los que el desarrollo del gluten se logra con el uso de sustancias químicas o mediante energía mecánica.

El uso del volumen de la masa no es el único criterio de calidad a tener en cuenta y así como se adiciona más de un 30% de harina que no sea de trigo, se ve afectado el color y el sabor del producto final y además a menos que se añada algún agente antienviejecimiento el pan se pasará rápidamente.

Hoy en día se acepta que la tecnología que utiliza harinas compuestas está fácilmente probada, esperando que sea adoptada en aquellos países importadores de trigo y en los que producen trigo, pero en cantidades insuficientes.

Los criterios básicos de las materias primas son.

- En harinas compuestas, la harina de trigo debe tener una fuerza adecuada preferiblemente más del 12 % de proteínas.
- Limpieza y tamaño de partícula adecuado en la materia prima que no sea de trigo. Es decir, libre de motas en el salvado o, en el caso de los tubérculos, en la piel y con la más baja cantidad de fibra grosera. El color debe ser lo más blanco posible sin mancha alguna y ni olor fuerte.

- Las materias primas deben tener buena consistencia de forma que tengan un comportamiento mecánico predecible.

2.4 Pruebas reológicas de harinas

“Son pruebas que miden las propiedades mecánicas (viscosidad, elasticidad, consistencia, extensibilidad, elasticidad, estabilidad, etc.) de una masa bajo determinadas condiciones de deformación (...). La mayor parte de estas pruebas son utilizadas para predecir la actitud panaria y de comportamiento de la masa durante el procesado antes de la cocción. Los principales métodos para realizar estas pruebas son: el Farinógrafo, el mixógrafo, el Extensógrafo y el Alveógrafo; algunas de estas pruebas son interpretadas subjetivamente de acuerdo con la tradición aceptada, mientras que otras generan datos cuantitativos como base de interpretación” (Dendy & Dobraszczyk, 2003, p.158). Las pruebas realizadas en la investigación fueron las siguientes:

2.4.1 Farinógrafo

Es un instrumento que mide la fuerza o torsión durante el mezclado de pequeñas cantidades de masa usando dos cuchillas en forma de Z que giran en sentido contrario. “Este instrumento es ampliamente usado en los laboratorios de cereales (...), como aparato de control físico de la masa. Sus principales usos son: (1) predecir la cantidad de agua que deberá ser adicionada a la harina para conseguir durante el mezclado en la masa una consistencia previamente fijada (absorción de agua), (2) para medir las características de mezclado de la harina, y (3) para predecir la capacidad panaria. La consistencia es medida en forma de torsión registrada en Unidades Brabender (UB) sobre una gráfica normalizada en papel por medio de una pluma anclada por una serie de palancas a un equipo registrador de la torsión. Para predecir la absorción de agua, una cantidad fijada de harina (normalmente 300

g) es mezclada usando solo harina y agua. El agua es adicionada hasta conseguir la consistencia requerida (usualmente 500 o 600 UB) en el centro de la traza de su diámetro. La cantidad de agua adicionada para conseguir la consistencia requerida es conocida como la absorción de agua, la cual puede variar entre 50% para una harina blanda para galletas hasta casi un 70 % para una harina estándar para panificación y una consistencia de 600 UB. La principal razón para medir la consistencia absorción de agua estriba en predicción del comportamiento de la harina durante el procesado. Si es adicionada demasiada agua a la harina, será obtenida una masa con poca consistencia, su manejo será difícil y tenderá a ser pastosa. Si es adicionada poca agua, la masa tenderá a ser inflexible y difícil de procesar y los costos de materiales serán mayores.

El farinógrafo es también usado para medir las características de la mezcla de una masa. Harinas de calidad panificadora variable producirán diferentes gráficas de trazos de mezclado. Una harina con poca capacidad panaria produce un trazo que alcanza rápidamente la consistencia máxima y entonces decrece rápidamente. Una harina con buena capacidad panaria alcanza más tarde la consistencia máxima y es mucho más estable (es decir muestra un menor descenso de la consistencia después del amasado). Esto esta probablemente relacionado con la estabilidad de la proteína macromolecular del gluten durante el mezclado” (Dendy & Dobraszczyk, 2003, p.160).

2.4.2 Extensógrafo

“El extensógrafo de Brabender mide la extensibilidad de la masa. Una masa de harina-agua-sal es mezclada hasta obtener la consistencia fijada en un farinograma y la masa es alternativamente moldeada dentro de un cilindro y posteriormente sometida a un proceso de relajamiento, repitiéndose el proceso varias veces a 30 °C, la muestra de masa es afianzada en una plataforma y estirada mediante un gancho que pasa por el centro de la muestra a

velocidad constante. Una representación de la fuerza durante el estiramiento frente al tiempo es registrada por una pluma en un papel registrador. La extensibilidad (E) y resistencia a la extensión (R_m) son obtenidos a partir de la gráfica fuerza – tiempo. Una buena aptitud panaria de la harina está asociada con una mucho mayor resistencia a la extensión, aunque la extensibilidad de ambas harinas es similar” (Dendy & Dobraszczyk, 2003, p.162).

2.4.3 Amilógrafo

“El amilógrafo mide la viscosidad relativa de una suspensión de harina en agua cuando es calentada con un incremento de temperatura constante. Esta prueba mide el cambio en la viscosidad de los gránulos de almidón gelatinizados e hinchados durante el calentamiento. La gelatinización ocurre como consecuencia de la ruptura de la estructura cristalina de los gránulos de almidón como consecuencia de la absorción de agua y el consecuente hinchado, lo que se traduce en un aumento de la viscosidad de los sistemas de almidón (...), este método es frecuentemente usado como prueba para la detección de bajos niveles de α - amilasa, dado que la prueba del Número de Caída está considerada como de menor exactitud. Una suspensión de harina en agua es preparada de acuerdo con procedimientos normalizados; la mezcla es calentada de 30 °C a 92 °C en un recipiente que gira y en el que se incrementa la temperatura a razón de 1,5 °C/min. Una paleta en el interior del recipiente de mezcla es la encargada de registrar la fuerza que en cada momento se produce, la cual registra la viscosidad relativa, medida en unidades del Amilógrafo de Brabender (AU) frente al tiempo o la temperatura. Una buena aptitud panaria es relacionada con máximos de gelatinización de entre 300 y 700 AU. Si la harina tiene niveles muy bajos de actividad α – amilasa (equivalentes a un valor del Número de Caída < 300), la calidad panaria de la harina está afectada adversamente, y α - amilasa es adicionada a la harina como mejorante” (Dendy & Dobraszczyk, 2003, p.168).

2.5 Bases teóricas especializadas sobre el tema

Las proteínas del gluten de la harina de trigo por sus propiedades de elasticidad y extensibilidad son únicas para que al mezclarse con el agua formen una red viscoelástica capaz de retener el dióxido de carbono producido por las levaduras en forma de gas durante el esponjamiento sin que se produzca una ruptura prematura de dicha estructura.

“El gluten contiene dos tipos de proteínas, gliadinas y gluteninas, que se presentan aproximadamente en proporciones iguales y ambas constituyen del 80 al 85 % de las proteínas totales del trigo (...). El comportamiento viscoelástico de la masa generalmente se describe en función de la viscoelasticidad de la glutenina; la viscoelasticidad de las proteínas de la harina de trigo se debe a la presencia de gluteninas mientras que las suspensiones de gliadinas forman líquidos viscosos, por lo tanto, para conocer la viscoelasticidad y el desarrollo de la masa hay que comenzar por comprender la estructura de la glutenina (...).

La aireación es un elemento esencial en cada etapa del proceso de panificación y la comprensión de dicha etapa representan beneficios comerciales y técnicos. La panificación es casi un proceso de aireación ya que hay que controlar la fase gaseosa durante toda la fabricación. Las etapas principales de la panificación son el amasado, la fermentación y el horneado; cada una de estas fases tienen que ver con la aireación. Durante el mezclado y amasado se incorporan pequeñas burbujas a la masa, estas burbujas se van agrandando con la presencia del dióxido de carbono desprendido durante la fermentación, y finalmente la estructura esponjosa se modifica y consolida durante el horneado” (Dendy & Dobraszczyk, 2003, p.257).

El período de fermentación de la masa busca el desarrollo del flavor pero sobre todo asegura la mejor estructura proteica de la masa capaz de retener el dióxido de carbono producido y retrasar la coalescencia de las celdillas gaseosas durante el posterior reposo. El desarrollo de la estructura da lugar a un mayor volumen del pan y a una estructura crujiente

más delicada. “Las partículas de aire deben incorporarse a la masa durante el amasado para que sirvan de núcleos de cristalización para el dióxido de carbono producido durante la fermentación (...); la levadura es incapaz de generar burbujas si no existieran esas celdillas de aire; sin estas celdillas de aire, el dióxido de carbono no se retendría en el interior de la masa sino que difundiría y mayoritariamente se perdería produciéndose en ese caso un escaso volumen de masa y una estructura basta y poco atractiva (...). Las operaciones de golpeo y moldeado sirven para redistribuir las burbujas de aire, donde se consigue laminar la masa, orientar el crecimiento posterior de las burbujas y producir una estructura más firme y crujiente (Dendy & Dobraszczyk, 2003, p.261).

2.6 Marco Conceptual

En la investigación se tuvo en cuenta los siguientes términos que se conceptualizaron de la siguiente manera:

2.6.1 Análisis reológico de harinas

Es el estudio del control de calidad de harinas de una proporción de harina – agua, para determinar la capacidad de absorción de agua, la consistencia, extensibilidad, elasticidad, tiempo de consistencia máxima de la masa, viscosidad, capacidad de gelificación, tiempo de caída, actividad enzimática, almidón dañado y otras características de la masa panaria.

2.6.2 Evaluación sensorial

Es un proceso sistemático, metodológico y experimental realizado por un grupo de personas no entrenadas, semientrenadas o entrenadas para evaluar los atributos o características de calidad no medibles por instrumentos de un producto alimenticio.

2.6.3 Fermentación de la masa panaria

Es el proceso de transformación de moléculas de glucosa en etanol y dióxido de carbono de la masa de harina, agua, azúcar, manteca y sal, en presencia de levadura con aumento del volumen de la masa por la producción de gas.

2.6.4 Gluten

Es una malla tridimensional formada por una proporción de harina - agua y por efecto del amasado debido a la presencia de proteínas gluteninas y gliadinas de la harina de trigo que tienen características de elasticidad y extensibilidad.

2.6.5 Harina

Es el porcentaje de harina de trigo obtenido a partir de 100 g de grano molido que pasa la malla 100 del tamiz de Tyler.

2.6.6 Harina sucedánea

Es la harina de otro cereal que se puede reemplazar por la harina de trigo en la elaboración de pan.

2.6.7 Levadura

Es un hongo u organismo aerobio de forma esférica u ovoide en colonias pastosas, que tiene la capacidad de fermentar glúcidos principalmente hexosas y disacáridos; el género *Saccharomyces* son fermentadores de los azúcares bajo condiciones anaeróbicas.

2.6.8 Pan

Producto que resulta de la fermentación y horneado de una mezcla de harina, agua, levadura, azúcar, manteca, sal, pudiendo contener algunos otros insumos y aditivos permitidos por la legislación.

2.6.9 Pan de quinua

Producto que resulta de la fermentación y horneado de una mezcla de harina de trigo, harina de quinua, levadura, azúcar, sal, pudiendo contener algunos otros insumos y aditivos autorizados por la legislación.

2.6.10 Sustitución de harina

Es el porcentaje de harina de trigo que se puede sustituir por harina de otro cereal sin que se pierda la capacidad panaria.

2.6.11 Sustitución de harina por harina de quinua

Es la cantidad de harina de trigo que se puede reemplazar por harina de quinua en la elaboración de pan.

2.6.12 Temperatura de fermentación

Es la temperatura en grados centígrados o grados Farenheit de una masa de pan adecuada para las bacterias *Saccharomyces cereviciae* en la producción de etanol y dióxido de carbono.

2.6.13 Textura del pan

Es la consistencia de una masa, como resultado de una mezcla de harina de trigo, harina de quinua, azúcar, manteca, sal, levadura y agua después del horneado a una

temperatura y un tiempo adecuado y un posterior enfriado por una evaluación sensorial o un instrumento de medida.

2.6.14 Tiempo de fermentación

Es el tiempo necesario para que se pueda alcanzar un máximo volumen de la masa panaria por la presencia de levadura.

2.6.15 Volumen de masa panaria

Es el volumen final que alcanza la masa panaria después de un proceso de fermentación por sustitución de harina de trigo por harina de quinua.

III. MÉTODO

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

3.1. Tipo de investigación

En el desarrollo del tema de la investigación se impone una investigación aplicada porque se manipuló intencionalmente las variables y se evaluaron sus efectos en el volumen de la masa fermentada y aceptabilidad del pan en color, sabor, textura y aspecto general con una evaluación sensorial del producto final. En este tema de investigación, el investigador forma parte “activa” del estudio, siempre son prospectivos (planeados), longitudinales (medición antes – después), analíticos (relacionan variables) y de nivel investigativo “explicativo” (causa – efecto); debiendo ser controlados.

3.2 Población y muestra

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

La muestra estuvo referida a la producción de pan francés de los 48 tratamientos estudiados de unidades experimentales de 60 g cada pan y referidas a las formulaciones. Se

trabajó con 9 kg para realizar los análisis fisicoquímicos, reológicos y organolépticos de acuerdo con el diseño experimental.

3.3 Operacionalización de variables

Las variables manipuladas fueron, sustitución parcial de harina de trigo por harina de quinua, control de la temperatura y el tiempo de fermentación de la masa panaria como variables independientes y como variables dependientes fueron el volumen de la masa fermentada y aceptabilidad del producto elaborado en sabor, color, textura y aspecto general.

3.3.1 Definición de variables

Las variables dependientes e independientes se dimensionaron con sus indicadores correspondientes como se muestra en la Tabla 1.

3.4 Instrumentos

Los instrumentos utilizados de recolección de datos fueron equipos de análisis reológico de harinas como farinógrafo, extensógrafo y amilógrafo (anexo 07), instrumentos de análisis fisicoquímico como equipo Kjeldalh para proteína, estufa para determinación de humedad, mufla para determinación de cenizas, equipo soflex para determinación de grasa y equipo de reflujo para determinación de fibra. Material de vidrio como probetas para determinar volumen de masa fermentada, horno rotatorio y balanza analítica. También se utilizaron equipos de evaluación sensorial.

Tabla 1*Variables independientes y dependientes*

VARIABLES	DIMENSION	INDICADOR
X. INDEPENDIENTES		
- Porcentaje de sustitución (H. trigo/H. quinua)	Porcentaje de sustitución	5, 10, 15 y 20 %
- Tiempo de fermentación	Duración en minutos del proceso fermentativo	20, 30, 40, 50, 60 min.
- Temperatura de fermentación	Rango de temperatura de viabilidad de levadura	25 y 30 °C
2 DEPENDIENTES		
- Volumen de masa fermentada	- Volumen de la masa después del tiempo de fermentación	Volumen en cm ³
- Sabor	- Puntuación asignada por un panel de jueces semientrenados en los atributos de calidad pan.	Escala hedónica de calificación de 1 a 5 puntos desde muy bueno a muy malo.
- Color		
- Textura		
- Aspecto general		

3.5 Procedimientos

En la evaluación de la tesis se aplicó el diseño experimental realizado en tres etapas para evaluar las variables independientes como porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de quinua, temperatura y tiempo de fermentación de la masa y aceptabilidad del pan. El diseño experimental se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2*Diseño experimental de la investigación*

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

3.6 Análisis de datos

Los datos experimentales obtenidos de los análisis reológicos de las mezclas de harinas, análisis fisicoquímicos realizados a los tratamientos, mediciones a la masa panaria de la temperatura y del tiempo de fermentación y recopilación de datos del análisis sensorial a las muestras de producto final, fueron procesados mediante tablas de análisis de variancia 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.

IV. RESULTADOS

4.1 Análisis fisicoquímico de las materias primas

Los resultados del análisis fisicoquímico realizado a las harinas de trigo y quinua se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3

Composición fisicoquímica de las harinas (En 100 g de la porción comestible)

Componente (%)	Harina de Trigo	Harina de Quinua
Humedad	12,1	13,2
Proteína	12,13	15,06
Carbohidratos	73,14	63,94
Grasa	0,63	2,3
Fibra	1,25	3,4
Ceniza	0,75	2,1

4.2 Determinación del análisis reológico

4.2.1 Análisis en el farinógrafo

Los resultados del análisis en el farinógrafo, realizado a las muestras con sustitución de harina de trigo (HT) por harina de quinua (HQ) fueron los que se muestran en la Tabla 4 y en el Anexo 03.

Tabla 4*Resultados de 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

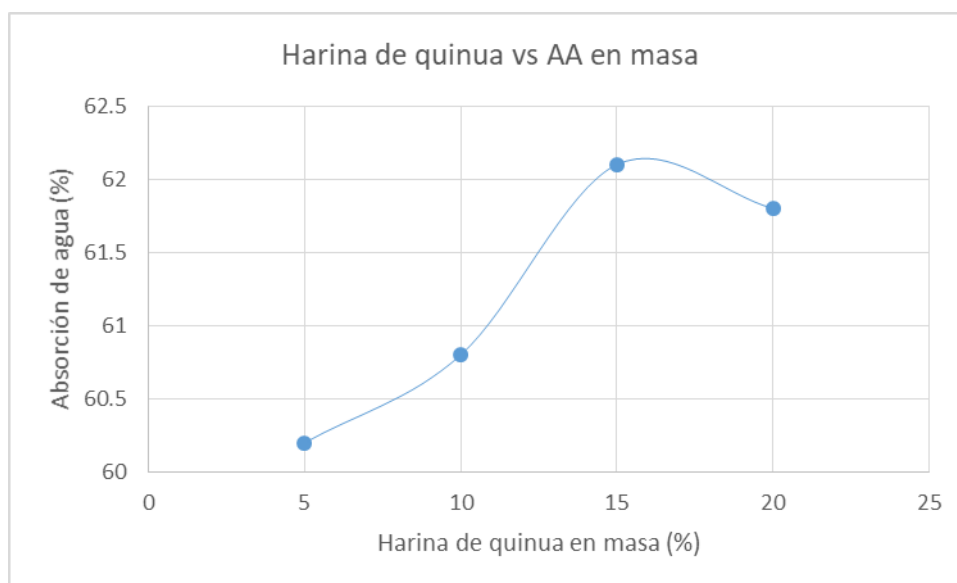
Nota. AA: Absorción de agua, TD: Tiempo de desarrollo de la masa, EST: Estabilidad, IT: Índice de tolerancia de la mezcla. T1, T2, T3 y T4: 5, 10, 15 y 20 % de sustitución de HT por HQ

De los resultados de la Tabla anterior, se observa que en absorción de agua (AA), la muestra T1 (5% de sustitución), reporta un menor porcentaje de AA (60,2 %), un mayor tiempo de desarrollo de la masa (TD: 4:53 mm:ss) y una mayor estabilidad (EST: 7:54 mm:ss) comparado con los demás tratamientos (T2, T3 y T4), debido a que la muestra T1 presenta un mayor porcentaje de harina de trigo y una mayor cantidad de gluten lo que hace de la mezcla una harina fuerte comparado con los otros tratamientos. En la capacidad de AA de las muestras, todos los tratamientos tienen una capacidad de hidratación satisfactorios, teniendo en cuenta que el tratamiento T3 (15% de sustitución) tiene una capacidad de hidratación mucho mayor que los otros tratamientos.

En la figura 1, se observa la capacidad de AA de las muestras evaluadas en función del porcentaje de HQ en la masa.

Figura 1

Porcentaje de HQ en la mezcla vs Capacidad de AA de la masa

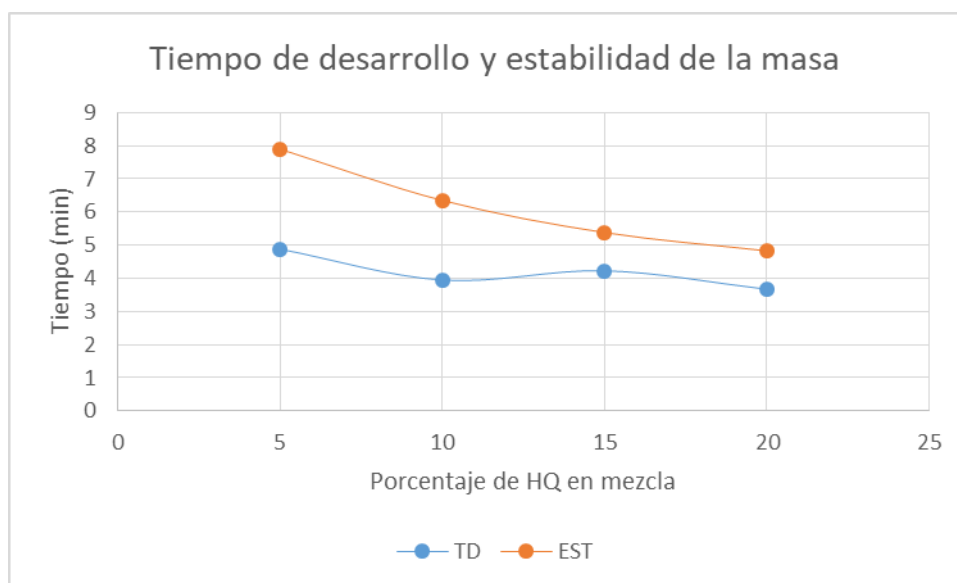


De los tratamientos evaluados, el tratamiento T2 (10% de sustitución) con una capacidad de AA de 60,8 muy cercano a un porcentaje de absorción de agua de 61, puede considerarse una harina fuerte, teniendo en cuenta que la cantidad de agua para obtener una adecuada consistencia se considera una harina con 61 % de capacidad de AA. Los tratamientos T1, T3 y T4 con valores de AA de 60,2; 62,1 y 61,8 % están más alejados de valor previsto. La absorción de agua está relacionada con la fuerza de la harina, que es la cantidad de agua necesaria para obtener una buena consistencia. “Se considera una harina fuerte una harina con 61 % de AA y harina débil una harina con 52,9 % de absorción de agua” (Vásquez, 2007, p.75).

El tiempo de desarrollo de la masa (TD) es similar en los tratamientos T1 y T3; en la estabilidad (EST) el tratamiento T3 muestra 2 puntos menos comparado con T1, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Porcentaje de HQ de la mezcla vs Tiempo de desarrollo y estabilidad de la masa.



De la Tabla 4, todos los tratamientos tienen un TD, mayor de 3 min, se puede decir que es muy alto, obteniendo un mayor tiempo de desarrollo el tratamiento T1 (04:53 mm:ss) comparado con los demás tratamientos. El TD de la masa disminuye con el aumento del porcentaje de HQ, obteniendo un mayor TD con un menor porcentaje de HQ en T1 (5%), esto debido a que disminuye el porcentaje de gluten formado en la masa (Figura 2).

Con relación a la estabilidad de las masas (EST), los tratamientos T1 y T2 con tiempos de 7:54 y 6:21 mm:ss, se obtuvieron mayores tiempos de EST de la masa comparado con los tratamientos T3 y T4 con 5:23 y 4:50 mm:ss pero por encima de un valor de 3 min para ser considerados una harina no panificable (tabla 02). La EST de la masa entre 5 - 8 min es alta, en este caso el T1, T2 y T3 tienen una alta EST y T4 tiene una EST aceptable. La EST de la masa disminuye con el aumento del porcentaje de harina de quinua, por el hecho de que el porcentaje de gluten de la masa se hace más débil (Figura 2).

Índice de Tolerancia de la mezcla (ITM), el ablandamiento de la masa, entre 60 a 80 es alto y esto lo tiene el tratamiento T1 comparado con los otros tratamientos, el tratamiento

T2 con un valor de 95 es aceptable, pero los tratamientos T3 y T4 tienen un valor mayor de 100 que no son satisfactorios. Los valores del 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 indicando que se encuentran debajo del valor de 115, por lo que no se pueden considerar como harinas débiles, en cambio los tratamientos T3 y T4 con valores de 129 UB en ambos casos se pueden considerar harinas débiles porque se encuentran encima del valor de 115 UB no aptas para harinas panarias.

EL ITM, “es la diferencia en unidades farinográficas del máximo de la curva medido cinco minutos, después de que se alcance el punto más alto de la gráfica. (...) harinas que tienen buena tolerancia a la mezcla tienen un valor bajo de ITM” (Vásquez, 2007, p.73). Las harinas fuertes tienen un ITM de 40 UB y harinas débiles tienen un ITM de 115.

4.2.2 Análisis en el extensógrafo

El análisis del extensógrafo de Brabender realizado a los 30 minutos a las muestras con sustitución de HT por HQ, fueron los que se muestran en la Tabla 5 y en el anexo 04.

Tabla 5

Análisis en el extensograma de tratamientos

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

De resultados de la Tabla 5, 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.

De la Tabla 5, T1 reporta un RE (673 BU), una extensibilidad (119 mm) y una Rm (781 BU) mayor comparado con los otros tratamientos. La muestra T3 indica un valor superior (640 BU) en RE, comparado con la muestra T2 (596 BU) siendo un valor adecuado para ser considerado dentro de las harinas con capacidad panaria. Los tratamientos T1 y T3 muestran valores de RE por encima de 600.

La resistencia máxima (Rm) es similar en T2 y T3 (654 y 645), aunque el T4 está por encima de 500 unidades extensográficas (597 UB).

4.2.3 Análisis en el amilógrafo

El análisis en el amilógrafo realizado a las muestras con sustitución de HT por HQ fueron las que se muestran en la Tabla 6 y en el anexo 05.

Tabla 6

Análisis en el amilograma de tratamientos

Muestras	Amilografía		
	G ₀ (°C)	T°G (°C)	G _{max} (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

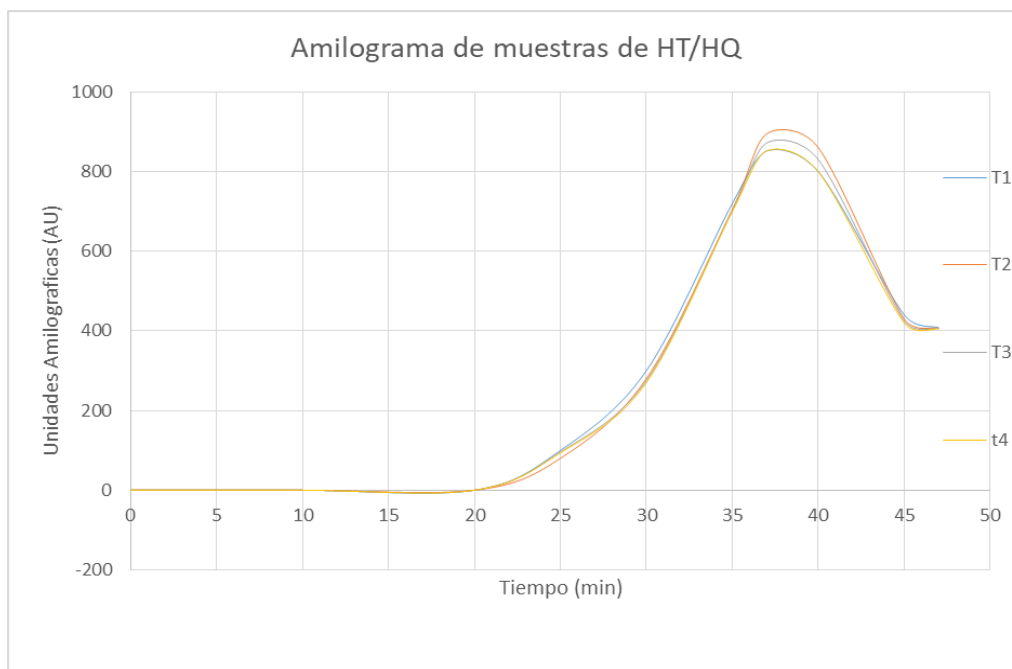
Nota. G₀: Inicio de gelatinización, T°G: Temperatura de gelatinización, G_{max}: Máxima gelatinización. T1 (5% HQ), T2 (10% HQ), T3 (15% HQ) y T4 (20% HQ).

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.

En la Figura 3, se compara el amilograma de los cuatro tratamientos realizados con sustitución de 5, 10, 15 y 20 % de Harina de Quinua.

Figura 3

Amilograma de los tratamientos por sustitución de HT por HQ



La muestra T1, T2 y T3 dan resultados similares en inicio de temperatura de gelatinización (G_0) y temperatura de gelatinización ($T^{\circ}G$), 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.

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).

4.3 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, según la formulación presentada en la Tabla 7.

Tabla 7

Formulación de masas panarias

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

De las formulaciones preparadas, se evaluó el volumen de fermentación de la masa a partir de 20 minutos y cada 10 minutos por una hora, donde se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 08.

Tabla 8

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

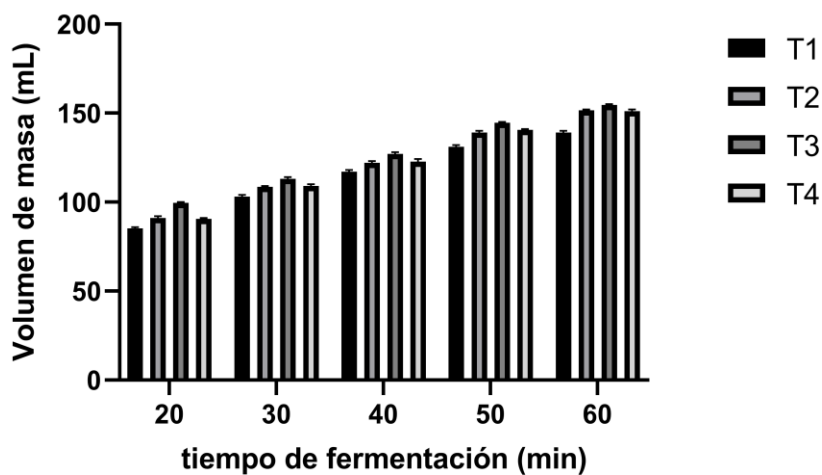
Tiempo de fermentación (min)	Temperatura (°C)							
	25				30			
	Sustitución HT/HQ (%)				Sustitución HT/HQ (%)			
	5	10	15	20	5	10	15	20
0	50	50	50	50	50	50	50	50
20	52	53	54	73	86	90	99	90
	53	52	55	72	85	92	100	91
30	58	61	70	90	102	108	112	108
	57	60	72	92	104	109	114	110
40	60	64	76	94	116	121	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

Se observa que los volúmenes de la masa fermentada a 30 °C son mayores que los volúmenes de la masa fermentada a 25°C, por lo tanto, la levadura se desarrolla mejor a una temperatura de 30°C. Comparando los volúmenes de fermentación de la masa, el tratamiento T3 (15% de HQ) con una temperatura de 30°C se obtienen mayores volúmenes de fermentación, que en los otros tratamientos.

En la Figura 4, 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 4

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

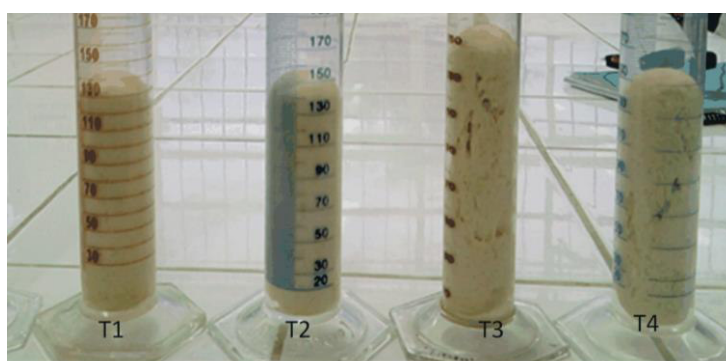


Nota. T1 (5 % HQ); T2 (10 % HQ); T3 (15 % HQ); T4 (20 % HQ)

La Figura 5, 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 5

Volumen de masa fermentada de tratamientos (a 60 minutos)



4.4 Resultados de la evaluación sensorial de los panes

Para la evaluación sensorial de los tratamientos se asignó una puntuación de acuerdo con la aceptabilidad de los jueces en la estructuración de una escala hedónica de 5 puntos, desde muy bueno a muy malo; en la Tabla 9 se muestra la puntuación asignada.

Tabla 9

Ponderación de la evaluación

Valor	Aceptabilidad
5	Muy bueno
4	Bueno
3	Regular
2	Malo
1	Muy malo

De los atributos evaluados, la Tabla 10, reporta los resultados de la apreciación de los jueces considerados semientrenados, en cuanto al color de los tratamientos.

Tabla 10

Resultados de la evaluación sensorial en el color

Jueces	F1	F2	F3	F4
1	5	5	5	5
2	4	4	4	4
3	4	3	3	4
4	4	4	4	3
5	4	2	3	4
6	3	3	4	3
7	3	4	3	4
8	3	2	2	4
9	3	3	3	3
10	3	4	4	2
11	3	4	3	4
12	3	3	4	2
13	3	4	3	3
14	3	4	4	3
15	3	3	4	2
16	3	4	3	3
17	3	3	3	2
18	4	3	4	3
Σ total	61	62	63	58
Promedios	3.39	3.44	3.50	3.22

De la puntuación total de las formulaciones evaluadas en cuanto al color de las formulaciones, la formulación F3 logró tener la mayor puntuación y la formulación F4 resultó tener la más baja puntuación.

La evaluación del sabor de los tratamientos por parte de los jueces se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11

Resultados de la evaluación sensorial en el sabor

Jueves	F1	F2	F3	F4
1	4	5	4	3
2	3	4	3	4
3	4	3	4	3
4	5	4	4	4
5	4	3	3	3
6	3	4	5	4
7	4	3	4	3
8	5	4	3	4
9	3	3	4	3
10	4	4	5	4
11	3	3	3	3
12	4	4	3	2
13	3	4	3	3
14	4	3	2	2
15	4	4	2	3
16	3	3	3	2
17	4	3	3	3
18	4	3	3	3
Σ total	68	64	61	56
Promedios	3.78	3.56	3.39	3.11

De la puntuación total de las formulaciones evaluadas en cuanto al sabor de las formulaciones, la formulación F1 logró tener la mayor puntuación y la formulación F4 resultó tener la más baja puntuación.

De los atributos evaluados, en la Tabla 12 se muestran los resultados de la apreciación de los jueces en cuanto a la textura de los tratamientos.

Tabla 12*Resultados de la evaluación sensorial en la textura*

Jueces	F1	F2	F3	F4
1	5	4	3	4
2	4	3	4	2
3	5	4	3	4
4	3	3	4	3
5	5	4	3	4
6	4	3	5	3
7	5	4	3	4
8	4	4	3	2
9	5	3	4	3
10	3	5	3	4
11	5	2	4	2
12	4	4	3	3
13	5	3	2	4
14	4	4	5	3
15	5	4	3	4
16	5	3	2	3
17	4	4	3	4
18	4	3	4	2
Σ total	79	64	61	58
Promedios	4.39	3.56	3.39	3.22

De la puntuación total de las formulaciones evaluadas en cuanto a la textura, la formulación F1 logró tener la mayor puntuación y la formulación F4 resultó tener la más baja puntuación.

De los atributos evaluados, la Tabla 13, se expone los resultados de la apreciación de los jueces en cuanto al aspecto general de los tratamientos.

De la puntuación total de las formulaciones evaluadas en cuanto al aspecto general de las formulaciones, la formulación F2 logró tener la mayor puntuación y la formulación F1 resultó tener la más baja puntuación.

Tabla 13*Resultados de la evaluación sensorial en el aspecto general*

Jueces	F1	F2	F3	F4
1	3	3	3	3
2	4	4	4	4
3	3	3	3	4
4	2	3	4	3
5	3	4	3	4
6	4	3	4	3
7	2	4	3	4
8	3	3	4	2
9	2	4	3	3
10	3	3	4	2
11	3	4	3	4
12	2	3	3	3
13	3	3	2	3
14	4	4	3	3
15	3	3	3	2
16	2	4	2	3
17	3	3	3	4
18	2	5	4	3
Σ total	51	63	58	57
Promedios	2.83	3.50	3.22	3.17

4.5 Contrastación de hipótesis

4.5.1 *Del porcentaje de sustitución de harina, de la temperatura y del tiempo de fermentación en el volumen de la masa panaria*

En la tabla 14 se muestra el Análisis de varianza de sustitución de HT por HQ, temperatura y tiempo de fermentación en el volumen de la masa panaria, resultado de un arreglo factorial mostrado en el anexo 06.

Tabla 14

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	37683,375	1	37683,375	37683,375	0,00
Sustitución	4577,458	3	1525,819	1525,819	0,00
Tiempo	50004,208	5	10000,842	10000,842	0,00
Temperatura * sustitución	2818,125	3	939,375	939,375	0,00
Temperatura * tiempo	9681,625	5	1936,325	1936,325	0,00
Sustitución * tiempo	1375,292	15	91,686	91,686	0,00
Temperatura * sustitución * tiempo	863,875	15	57,592	57,592	0,00
Error	48,000	48	1,000		
Total	107051,958	95			

Nota. R cuadrado = 0,999

De la Tabla 14, se indica que la triple interacción de los factores porcentaje de sustitución de harina, temperatura y tiempo de fermentación de la masa de pan, 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 la sustitución de HT por HQ, la temperatura y el tiempo de fermentación mejora el volumen de la masa y rechazando la hipótesis alternante donde se menciona lo contrario.

En la Tabla 15, se muestra las medias de la prueba de Tukey, donde se comparan los tratamientos evaluados con un valor de A.L.S. (Tukey) de 4,2365.

T₁₃₁	50.0	o
T₁₄₁	50.0	o
T₂₁₁	50.0	o
T₂₂₁	50.0	o
T₂₃₁	50.0	o
T₂₄₁	50.0	o

Nota. Índice de comparación de la prueba de Tukey: $S_{x.*AES}(T) = 0,70711 * 5,99 = 4,2356$
(con CMee= 48, n= 48, $\alpha = 0,05$)

Tijk: i(1 y 2= 25 y 30 °C), j (1, 2, 3, 4 = 5, 10, 15 y 20 % HQ), k (1, 2, 3, 4, 5, 6 = 0, 20, 30, 40, 50, 60 min).

De la Tabla 15, 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.

4.5.2 De la aceptabilidad del pan de los tratamientos

En la Tabla 16 se muestra el análisis de variancia en cuanto al color de los tratamientos.

Tabla 16

Análisis de varianza de la aceptabilidad en el color

Fuentes de Variabilidad	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F	Sig.
Jueces	18,111	17	1,065	2,687	0,003
Tratamientos	0,778	3	0,259	0,654	0,584
Error	20,222	51	0,397		
Total	39,111	71			

Nota. R² = 0,483

De la Tabla 16, se muestra que a un nivel de significancia de 0.5, no hay diferencia entre tratamientos en cuanto al color del pan, rechazando la hipótesis nula donde la adición de harina de quinua mejora el color del pan y aceptando la hipótesis alternante donde se indica lo contrario.

En la Tabla 17 se muestra la Prueba de comparación de Tukey en cuanto al color de los tratamientos

Tabla 17

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

En la tabla 17, de la Prueba de comparación de Tukey, 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 color.

En la Tabla 18 se muestra el análisis de varianza en cuanto al sabor de los tratamientos

Tabla 18*Análisis de varianza de la aceptabilidad en el sabor*

Fuentes de Variabilidad	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F	Sig.
Jueces	14,625	17	0,860	2,311	0,011
Tratamientos	4,264	3	1,421	3,818	0,015
Error	18,986	51	0,372		
Total	37,875	71			

Nota. R cuadrado = 0,499

De la Tabla 18, a un nivel de significancia de 0.5, hay diferencia entre tratamientos en cuanto al sabor del pan, aceptando la hipótesis nula donde la sustitución parcial de harina de trigo por harina de quinua mejora el sabor del pan.

En la Tabla 19 se muestra la Prueba de comparación de Tukey en cuanto al sabor de los tratamientos, donde 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 aceptabilidad en el sabor.

Tabla 19*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

En la Tabla 20 se muestra el ANVA en cuanto a la textura de los tratamientos.

Tabla 20

Análisis de varianza de la aceptabilidad en la textura

Fuentes de Variabilidad	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F	Sig.
Jueces	7,111	17	0,418	0,646	0,838
Tratamientos	14,500	3	4,833	7,470	0,000
Error	33,000	51	0,647		
Total	54,611	71			

Nota. R cuadrado = 0,396

De la Tabla 20, a un nivel de significancia de 0.5, hay diferencia entre tratamientos en cuanto a la textura del pan, aceptando la hipótesis nula donde la sustitución parcial de harina de trigo por harina de quinua mejora la textura del pan.

En la Tabla 21 se muestra la Prueba de comparación de Tukey en cuanto a la textura de los tratamientos

Tabla 21

Prueba de Tukey para comparación de tratamientos en la textura

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

En la Tabla 21, se muestran la Prueba de comparación de Tukey, donde el tratamiento T1 con una media de 4,3889 es mejor en cuanto a la textura seguido del tratamiento T2 y el tratamiento T4 con una media de 3,2222 tiene menor aceptabilidad en la textura del pan.

En la Tabla 22 se muestra el análisis de varianza en cuanto al aspecto general de los tratamientos evaluados

Tabla 22

Análisis de varianza de la aceptabilidad en el aspecto general

Fuentes de Variabilidad	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F	Sig.
Jueces	8,403	17	0,494	1,135	0,349
Tratamientos	4,042	3	1,347	3,094	0,035
Error	22,208	51	0,435		
Total	34,653	71			

Nota. R cuadrado = 0,359

De la Tabla 22, se observa que a un nivel de significancia de 0.5, hay diferencia entre tratamientos en cuanto al aspecto general del pan, aceptando la hipótesis nula donde la sustitución parcial de harina de trigo por harina de quinua mejora el aspecto general del pan.

En la Tabla 23 se muestra la Prueba de comparación de Tukey en cuanto al aspecto general de los tratamientos

Tabla 23

Prueba de Tukey para comparación de tratamientos en el aspecto general

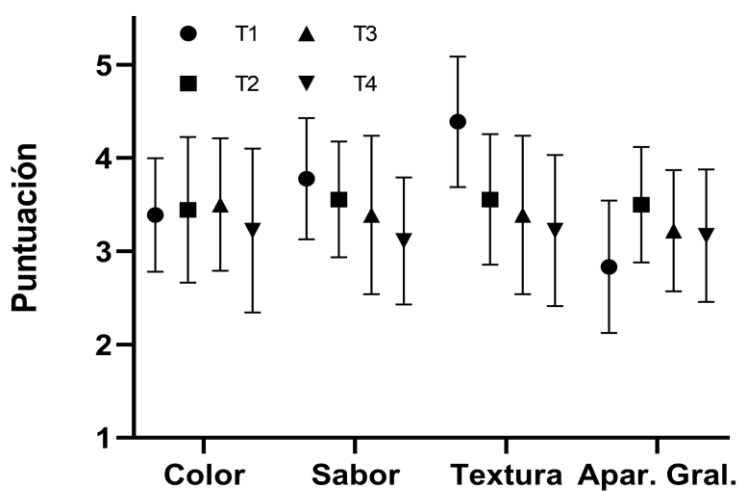
Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	2
1	18	2,8333	
4	18	3,1667	3,1667
3	18	3,2222	3,2222
2	18		3,5000
Sig.		0,300	0,436

En la tabla 23, de la Prueba de comparación de Tukey, el tratamiento T2 es mejor en cuanto al aspecto general del pan con una media de 3,50 seguido del tratamiento T3 con una media de 3,2222 y el tratamiento T1 con una media de 2,8333 es menos aceptado en cuanto al aspecto general del pan.

En la figura 6, se muestra la comparación de tratamientos relacionado a los atributos en color, sabor, textura y apariencia general del pan francés.

Figura 6

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

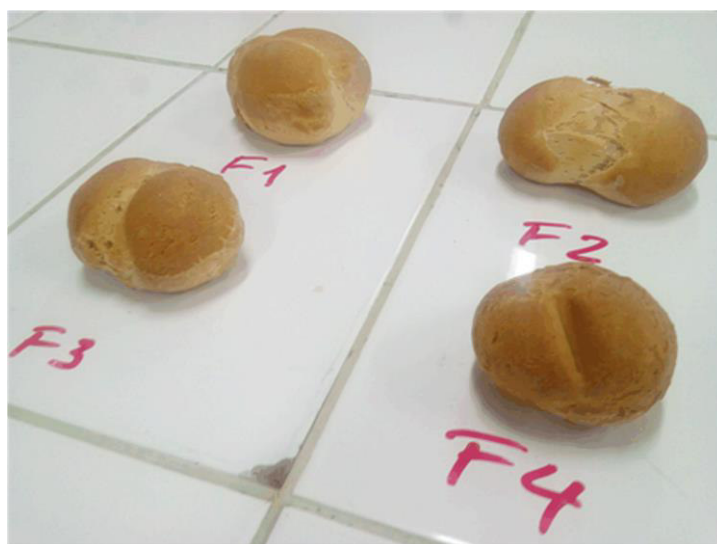


De la Figura 6 el color se ve afectado por la adición de harina de quinua, la puntuación es mayor cuando aumenta hasta 15%, pero desciende con contenidos menores de 20 % de harina de quinua en la formulación, con la misma tendencia de disminuir la puntuación en la textura o volverse más dura cuando aumenta 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.

En la figura 7, 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.

Figura 7

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



4.5.3 Análisis fisicoquímico del producto final

En la Tabla 24, 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 24

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

Composición de pan	Pan experimental (%)	Pan francés comercial (*) (%)
Humedad	25,42	27,00
Proteína	11,84	8,40
Carbohidratos	56,48	63,80
Grasa	2,56	0,20
Fibra	1,36	0,60
Ceniza	2,34	1,50

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

De la Tabla 24, 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.

4.6 Análisis e interpretación

4.6.1 De la adición de harina de quinua en la formulación del pan

De la comparación de medias de los tratamientos mediante la Tabla 15, se puede corroborar que el tratamiento con 15% de sustitución de HT por HQ es el mejor comparado con los demás tratamientos con una media de 154,5 cm³ de un volumen inicial de 50 cm³ a una temperatura de 30°C y un tiempo de fermentación de la masa de 60 min.

Los tratamientos con sustituciones de 10% y 20% con volúmenes de fermentación de la masa de 151,5 y 151,0 cm³ están debajo del 15% de sustitución correspondiente a temperatura de 30 °C y tiempo de fermentación de la masa de 60 minutos.

4.6.2 De la temperatura y el tiempo de fermentación de la masa de pan

Con una menor temperatura de la cámara de fermentación (25°C), la masa de pan desarrolla menor volumen en el mismo tiempo comparado con la masa fermentada a una temperatura de la cámara mayor (30°C). La Tabla 8 muestra que la temperatura de 30°C de la

cámara de fermentación, se obtienen mayores volúmenes de masa en tiempos de 20 a 60 minutos.

4.6.3 De la aceptabilidad del pan elaborado en los tratamientos evaluados

De los atributos evaluados, los tratamientos con sustituciones de 10 y 15% de HT por HQ, son mejores en cuanto al aspecto general con medias de 3,50 y 3,22 respectivamente (anexo 08).

Con respecto al color del pan, el tratamiento con 15 % de HQ es mejor que los demás con una media de 3,50 (tabla 17).

En el sabor del pan, los tratamientos con 5, 10 y 15 % tienen medias similares con valores de 3,78; 3,56 y 3,39 respectivamente (tabla 19).

En textura, el tratamiento con 5 % de HQ, es mejor con una media de 4,39 seguido del tratamiento con 10 y 15 %, que tiene una media de 3,55 y 3,39 respectivamente (tabla 21).

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 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 X. et al., (2019), donde menciona 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.

5.2 Del volumen de la masa fermentada

De los resultados del Análisis de varianza (Tabla 14), 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 4); el tratamiento T3 (15% de HQ) con una temperatura de 30°C se obtienen mayores volúmenes de fermentación, que en los demás tratamientos (Figura 5); 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 & Morita, 2005 como se citó en Gostin, 2019) y características sensoriales aceptables (Chauhan & 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 & 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°G) del almidón, pero en los tratamientos T1 y T3 se obtiene los valores de gelatinización máxima (Gmax 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).

5.3 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 17); el tratamiento T1 (5% de HQ) con una media de 3,7778 es mejor en cuanto al sabor seguido del tratamiento T2 (Tabla 19); 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 la textura los tratamientos T1, T2 y T3 tienen una buena aceptabilidad (Tabla 21); 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 23); 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 y otros, 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 Vecillas (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 6). 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 7). 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). En el sabor, hay una tendencia a la pérdida de sabor del pan con el aumento del contenido de harina de quinua. Del tratamiento T3 seleccionado y comparado en su composición fisicoquímica con el pan francés comercial (Tabla 24), 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 Ruíz (2022) la quinua aporta contenidos de fibra de hasta 1,9%.

VI. CONCLUSIONES

De las pruebas realizadas en la tesis de investigación se llegó a las siguientes 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.

VII. RECOMENDACIONES

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

VIII. 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/https://doi.org/10.14642/RENC.2021.27.3.5381>
- Alvarez, Z., & Tuza, E. (2009). *Elaboración de pan dulce pre cocido enriquecido con harina de quinua*. Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/555/1/03%20AGI%20251%20TESIS.pdf>
- Apaza, B., Hayqui, H., & Sumire, D. (2015). Sustitución parcial de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) por las harinas de quinua (*Chenopodium Quinoa Wild*); cañihua (*Chenopodium pallidicaule*); y chía (*Salvia hispanica L.*) en la elaboración de pan Chuta. *Revista de investigación Universitaria*, 4(1), 21-25. <https://doi.org/https://doi.org/10.17162/riu.v4i1.607>
- Arroyave, L., & Esguerra, C. (2006). *Utilización de harina de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en el proceso de panificación*. Tesis de Grado. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/137
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). *Official methods of analysis*.
- Avecillas, R. (2015). Tesis de Grado, Universidad Tecnología Equinoccial, Quito. https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5408/1/60106_1.pdf
- 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 Grado, Universidad Tecnología Equinoccial, Quito. https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5408/1/60106_1.pdf

- Casanave, M. y. (2022). *Evaluación del aporte nutricional de los granos germinados y sin germinar de quinua, kiwicha y cañihua*. Universidad Femenina del Sagrado Corazón, Lima. <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 de Doctorado, Universidad Nacional del Santa, Chimbote. <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 . <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/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb01241.x>
- De la Cruz, W. (2009). *Complementación proteica de harina de trigo (*Triticum aestivum L.*) por harina de quina (*Chenopodium quinoa Willd*) y suero en pan de molde y tiempo de vida útil*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria "La Molina", Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1742>
- Dendy, D., & Dobraszczyk, B. (2003). *Cereales y productos derivados, química y tecnología*. 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, Bogotá.

<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 Grado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
<http://www.bdigital.unal.edu.co/4223/1/107475.2011>

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", Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4617>

Gomez, L. (23 de 4 de 2008). *Diario el comercio*.

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(108412).

<https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108412>

Guardianelli, L. (2022). *Mejora nutricional de harinas de amaranto y quinua. Aplicaciones en panes de trigo saludables*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Plata.
<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", Lima.

<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5393?show=full>

Kent, N. (1993). *Tecnología de los cereales. Introducción para estudiantes de ciencia de los alimentos y agricultura*. Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A.

- Llerena, k. (2010). *Elaboración de galletas para niños del parvulario de la E.S.P.O.CH.* Tesis de Grado, Chimborazo.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1685/1/84T00052.pdf>.
- 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. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4589>
- Ministerio de Salud. (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., & Zapata, j. (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. *Rev. Soc. Quím. Perú*, 76(4), 377-388.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000400008&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1810-634X
- Payhuanca, I., & Matos, A. (2011). La formación de la masa, la fermentación y los métodos de proceso en la elaboración de pan. En U. P. Unión (Ed.), *I Congreso Nacional de Investigación*. <http://alimentos.web.unq.edu.ar/wp-content/uploads/sites/57/2016/03/>
- Peña, J. (2013). *Formulación de un pan sin gluten y descripción de características externas e internas de calidad.* Tesis de Maestría, Universidad de Sonora.
<http://hdl.handle.net/20.500.12984/757>
- Primo, E. (1998). *Química de los alimentos.* Madrid, España: Editorial Sintesis 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 Actividad y Divulgación científica*, 15(1), 199-207.

<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v15n1/v15n1a21>

Rojas, D., Curasi, N. S., & Torres, M. (2010). Determinación y optimización de parámetros en la elaboración de chifón con harina de quinua empleando el método de Taguchi y Superficie de Respuesta. *Centro de Investigación de Tecnología de Alimentos*.
http://www.infoquinua.bo/fileponencias/a_ROJAS.

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/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/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.037>

IX. ANEXOS

ANEXO 1*Ficha técnica de equipos utilizados*

Ficha técnica del Farinografo Brabender

Fabricación: Alemania

Número de identificación: 8 101 61.001

Número de serie: 1925949

Datos técnicos:

Drive unit	Motor:	0.45-KW inverter motor
	Speed range:	0 -200 min-1
	Speed deviation:	0 %
	Torque:	0 -20 Nm
	Safety device:	Safety proximity switch for monitoring the mixer cover and the position of the measuring mixer*
Current supply	Mains supply:	115 V, 50/60 Hz + PE, 5,2 A
	Admisible voltaje fluctuation:	± 10%
	Current consumption:	Approx. 2.6 A
Dimensions and weight	Dimensions (W*H*D) (without measuring mixer*):	Approx. 520 mm * 480 mm * 830 mm
	Weight:	
	Without measuring mixer*	Approx. 82 kg
	With S 300 measuring mixer*	Approx. 103 kg
Environmental conditions	<u>Storage:</u>	
	Temperatura	- 25°C -+ 55°C
	Relative humidity	Max. 80 %
	<u>Operation:</u>	
	Temperatura	+ 5°C -+ 45°C Recommended: 20°C – 24°C

Relative humidity	Max. 80%
-------------------	----------

Ficha técnica del Extensografo Brabender

Fabricación: Alemania

Número de identificación: 8 607 23

Número de serie: 1925035

Características técnicas:

Dimensiones (Anch * Alto * Hondo)

Aparato con soporte de bandeja de masa, sin carril:	450 * 850 * 630 mm
Superficie de carga (al borde de la mesa):	1000 * 850 * 630 mm 76 kg
Peso:	115 V ~, 50/60 Hz + PE
Tensión de servicio:	83 ± 3 min ⁻¹
Velocidad del homogeneizador a bolas:	15 ± 1 min ⁻¹
Velocidad del rodillo de la masa:	14,5 ± 0,5 mm/s
Velocidad del gancho de extensión:	

Condiciones ambientales:

Almacenamiento:	Temperatura -25°C...+55°C
	Humedad 80 % max.

Funcionamiento:	Temperatura 18°C...25°C
	Humedad 80 % max.

Ficha técnica del Amilógrafo Brabender

Fabricación: Alemania

Número de identificación: 8 002 50

Número de serie: 1925888

Datos técnicos:

Volumen de la muestra:	Aprox. 550 ml
Consumo calentamiento:	550 W
Índice calorífico:	Estándar (ICC): 1,5 °C/min, regulable entre 0,1-9,9 °C/min
Velocidad:	75 min ⁻¹
Medición del torque:	Electrónica
Puerto PC:	USB
Conexión eléctrica:	115 V, 60 Hz
Dimensiones (An * Al * Pr):	470 * 830 * 350 mm
Peso:	Aprox. 30 kg neto

Condiciones ambientales:

Almacenamiento:	Temperatura -25 °C..... +55 °C Humedad 5 ... 95 % hum. rel. sin condens.
Operación:	Temperatura +5 °C..... +45 °C Humedad 5 ... 95 % hum. rel. sin condens.

ANEXO 2

Definiciones de términos

Fermentación de la masa panaria, capacidad de la masa a producir dióxido de carbono en presencia de levaduras y aumento del volumen.

Gelatinización del almidón, temperatura de los gránulos de almidón a absorber la máxima cantidad de agua sin romperse la estructura.

Producción de dióxido de carbono, capacidad de las levaduras a la producción de dióxido de carbono por fermentación de la masa panaria en presencia de glucosa.

Masa fermentada, masa cruda de pan expuesta a una temperatura y humedad relativa por un tiempo determinado para fermentación por las levaduras con producción de gas carbónico.

Escala hedónica, prueba de preferencia para evaluación sensorial de una muestra y evaluada en sus diferentes atributos por un número mínimo de 15 jueces semientrenados, personas que conocen la metodología de una prueba de evaluación sensorial y tienen cierta experiencia en detectar diferencia de atributos de una muestra alimenticia.

Capacidad de absorción de agua, capacidad que tiene una masa de harina en absorber una cantidad de agua para alcanzar la consistencia adecuada y formación del gluten.

Tiempo de desarrollo de la masa, tiempo en minutos que necesita una masa de pan en alcanzar la consistencia máxima y el desarrollo del gluten.

Estabilidad de la masa, tiempo donde la masa de pan mantiene la consistencia máxima después de la cual la consistencia de esa masa pierde fuerza.

Índice de tolerancia de mezclado, caída de consistencia expresado en unidades farinógrafas, cinco minutos después del tiempo de desarrollo de la masa o tiempo óptimo de amasado.

Extensibilidad, capacidad máxima de masa panaria a estirarse sin romperse.

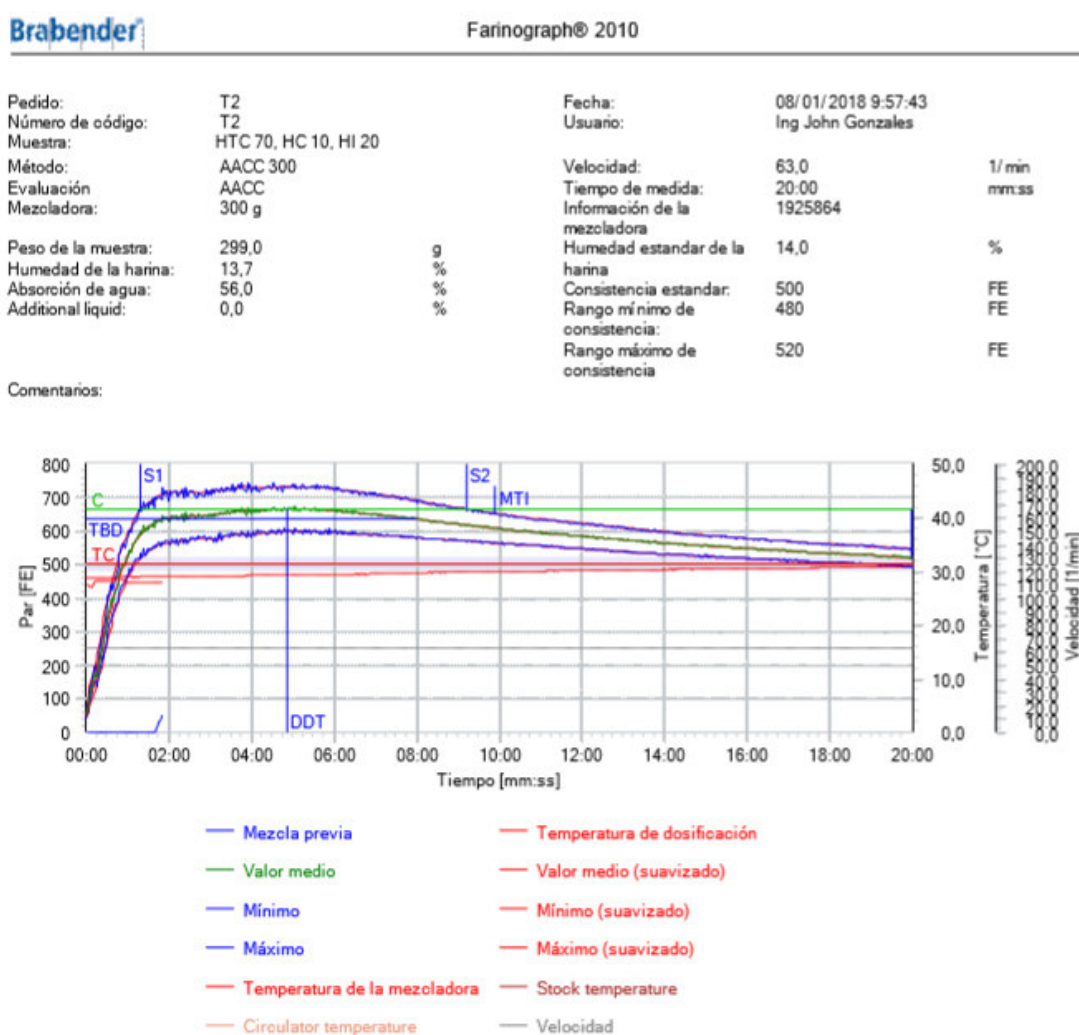
Resistencia máxima, capacidad máxima de la masa panaria a resistir el estiramiento por efecto de la producción de dióxido de carbono.

ANEXO 3

Resultado de pruebas reológicas en el farinógrafo

Figura 8

Análisis en el farinograma del tratamiento con 5% de sustitución de harina de quinua



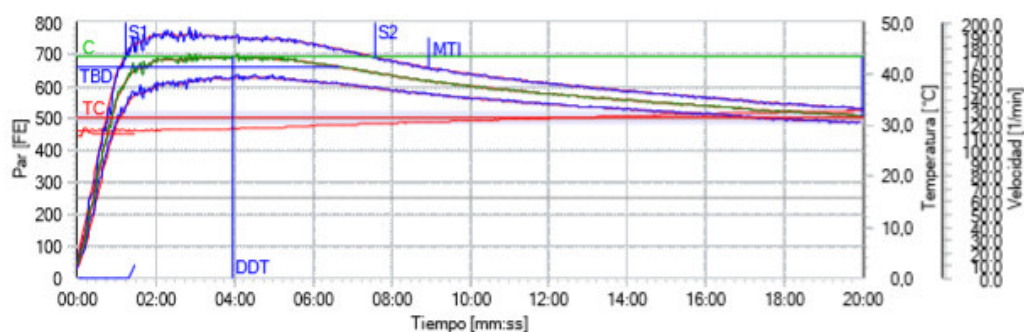
Evaluación			
Punto	Unidad	Valor	Descripción
T	mm:ss	20:01	Tiempo de medida
DT	°C	28,0	Temperatura de dosificación
DDT	mm:ss	04:53	Tiempo de desarrollo de la masa
C	FE	666	Consistencia
WZ	%	56,0	Absorción de agua
WAC	%	60,2	Absorción de agua corregida para consistencia
WAM	%	59,9	Absorción de agua corregida por humedad harina
S1	mm:ss	01:19	StabilityArrival
S2	mm:ss	09:13	StabilityDeparture
S	mm:ss	07:54	Estabilidad
MTI	FE	79	Índice de tolerancia (MTI)
FCN	mm	80	Número de calidad farinográfico
D	FE	147	Drop-off
TBD	mm:ss	08:00	Time to breakdown

Figura 9

Análisis en el farinograma del tratamiento con 10 % de sustitución de Harina de quinua

Brabender		Farinograph® 2010	
Pedido:	T3	Fecha:	08/01/2018 11:04:19
Número de código:	T3	Usuario:	Ing John Gonzales
Muestra:	HTC 70, HC 10, HI 20	Velocidad:	63,0 1/ min
Método:	AACC 300	Tiempo de medida:	20:00 mm:ss
Evaluación:	AACC	Información de la mezcladora:	1925864
Mezcladora:	300 g	Humedad estándar de la harina:	14,0 %
Peso de la muestra:	296,9 g	Consistencia estándar:	500 FE
Humedad de la harina:	13,1 %	Rango mínimo de consistencia:	480 FE
Absorción de agua:	56,0 %	Rango máximo de consistencia:	520 FE
Additional liquid:	0,0 %		

Comentarios:



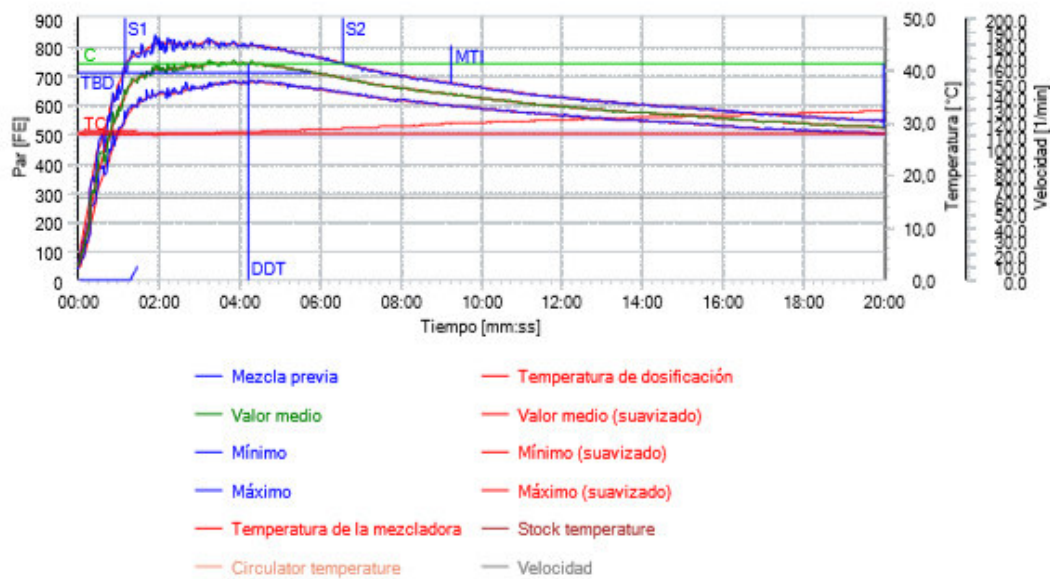
— Mezcla previa	— Temperatura de dosificación
— Valor medio	— Valor medio (suavizado)
— Mínimo	— Mínimo (suavizado)
— Máximo	— Máximo (suavizado)
— Temperatura de la mezcladora	— Stock temperature
— Circulator temperature	— Velocidad

Evaluación			
Punto	Unidad	Valor	Descripción
T	mm:ss	20:01	Tiempo de medida
DT	°C	28,3	Temperatura de dosificación
DDT	mm:ss	03:57	Tiempo de desarrollo de la masa
C	FE	691	Consistencia
WZ	%	56,0	Absorción de agua
WAC	%	60,8	Absorción de agua corregida para consistencia
WAM	%	59,8	Absorción de agua corregida por humedad harina
S1	mm:ss	01:15	StabilityArrival
S2	mm:ss	07:36	StabilityDeparture
S	mm:ss	06:21	Estabilidad
MTI	FE	95	Índice de tolerancia (MTI)
FCN	mm	67	Número de calidad farinográfico
D	FE	183	Drop-off
TBD	mm:ss	06:41	Time to breakdown

Figura 10

Análisis en el farinograma del tratamiento con 15 % de sustitución de harina de quinua.

Brabender		Farinograph® 2010	
Pedido:	T4	Fecha:	08/01/2018 14:31:18
Número de código:	T4	Usuario:	Ing John Gonzales
Muestra:	HTC 70, HC 10, HI 20		
Método:	AACC 300	Velocidad:	63.0 1/min
Evaluación:	AACC	Tiempo de medida:	20:00 mm:ss
Mezcladora:	300 g	Información de la mezcladora:	1925864
Peso de la muestra:	296,9 g	Humedad estándar de la harina:	14,0 %
Humedad de la harina:	13,1 %	Consistencia estándar:	500 FE
Absorción de agua:	56,0 %	Rango mínimo de consistencia:	480 FE
Additional liquid:	0,0 %	Rango máximo de consistencia:	520 FE
Comentarios:			



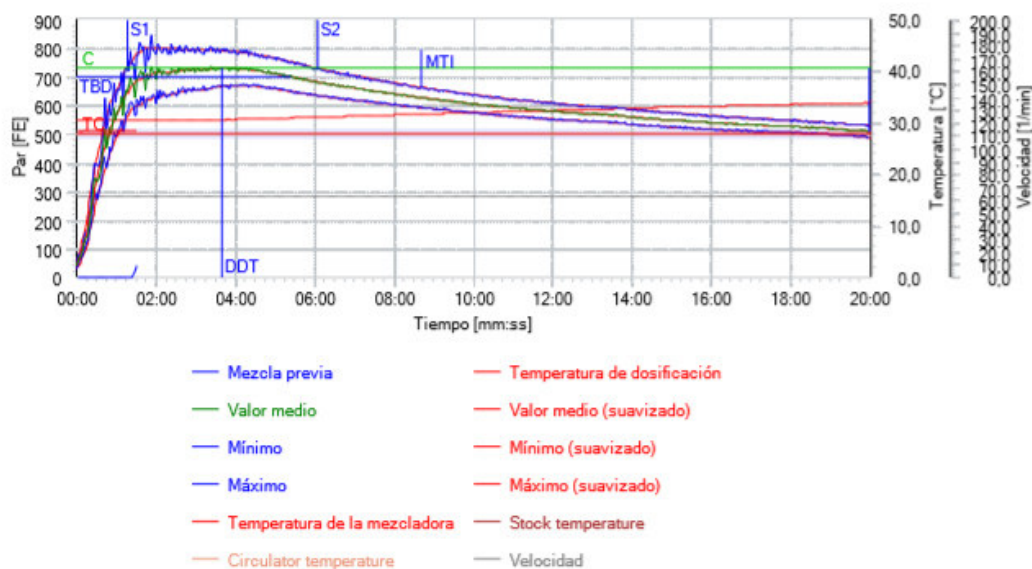
Evaluación			
Punto	Unidad	Valor	Descripción
T	mm:ss	20:01	Tiempo de medida
DT	°C	28,6	Temperatura de dosificación
DDT	mm:ss	04:14	Tiempo de desarrollo de la masa
C	FE	745	Consistencia
WZ	%	56,0	Absorción de agua
WAC	%	62,1	Absorción de agua corregida para consistencia
WAM	%	61,1	Absorción de agua corregida por humedad harina
S1	mm:ss	01:11	StabilityArrival
S2	mm:ss	06:34	StabilityDeparture
S	mm:ss	05:23	Estabilidad
MTI	FE	129	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	mm	58	Número de calidad farinográfico
D	FE	220	Drop-off
TBD	mm:ss	05:47	Time to breakdown

Figura 11

Análisis en el farinograma del tratamiento con 20 % de sustitución de harina de quinua

Brabender		Farinograph® 2010	
Pedido:	T5	Fecha:	08/01/2018 15:09:52
Número de código:	T5	Usuario:	Ing John Gonzales
Muestra:	HTC 70, HC 10, HI 20		
Método:	AACC 300	Velocidad:	63,0 1/min
Evaluación:	AACC	Tiempo de medida:	20:00 mm:ss
Mezcladora:	300 g	Información de la mezcladora:	1925864
Peso de la muestra:	295,2 g	Humedad estandar de la harina:	14,0 %
Humedad de la harina:	12,6 %	Consistencia estandar:	500 FE
Absorción de agua:	56,0 %	Rango mínimo de consistencia:	480 FE
Additional liquid:	0,0 %	Rango máximo de consistencia:	520 FE

Comentarios:



Evaluación			
Punto	Unidad	Valor	Descripción
T	mm:ss	20:01	Tiempo de medida
DT	°C	28,5	Temperatura de dosificación
DDT	mm:ss	03:40	Tiempo de desarrollo de la masa
C	FE	731	Consistencia
WZ	%	56,0	Absorción de agua
WAC	%	61,8	Absorción de agua corregida para consistencia
WAM	%	60,2	Absorción de agua corregida por humedad harina
S1	mm:ss	01:17	Stability/Arrival
S2	mm:ss	06:06	Stability/Departure
S	mm:ss	04:50	Estabilidad
MTI	FE	129	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	mm	54	Número de calidad farinográfico
D	FE	224	Drop-off
TBD	mm:ss	05:23	Time to breakdown

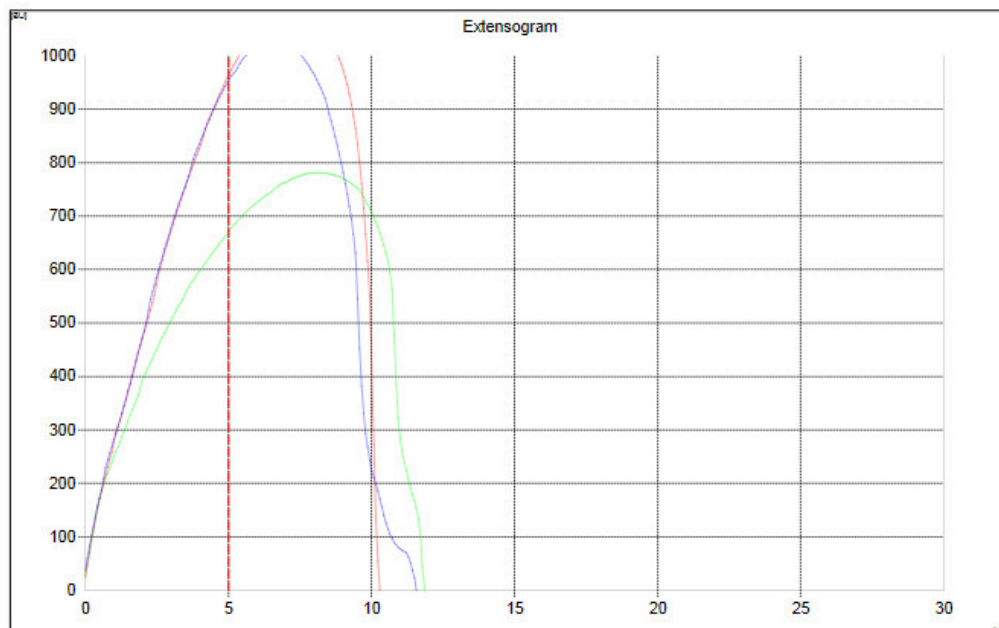
ANEXO 4

Resultado de pruebas reológicas en el extensógrafo

Figura 12

Análisis en el extensograma de tratamiento con 5 % de sustitución de harina de quinua

Brabender®		Brabender® Extensograph		
Evaluation of sample:	T2			
Date:	09/01/2018			
Operator:	ing. john gonzales			
Test after 30/60/90 Minutes				
Waterabsorption:	56.0 %			
Proving Time [min]:	30	60	90	
Energy [cm ²]:	117	139	131	
Resistance to Extension [BU]:	673	967	956	
Extensibility [mm]:	119	103	116	
Maximum [BU]:	781	1091	1025	
Ratio Number:	5.7	9.4	8.3	
Ratio Number (Max.):	6.6	10.6	8.9	
Remarks:	T2			

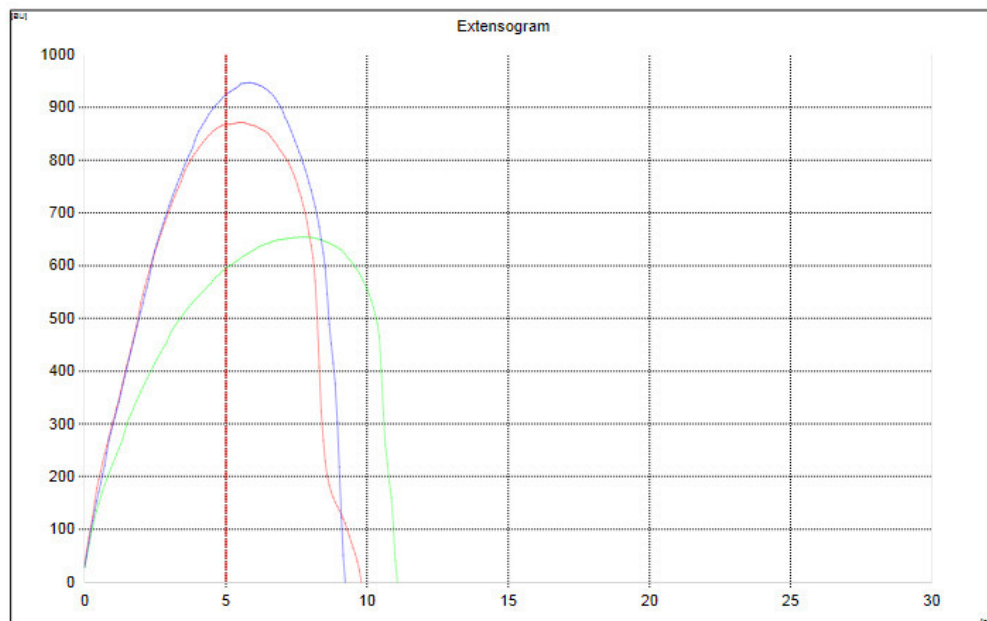


Test: C:\EXTENSOGRAFIA SERVICIOS\T2\T2.EXD

Figura 13

Análisis en el extensograma de tratamiento con 10 % de sustitución de harina de quinua

Brabender®		Brabender® Extensograph		
Evaluation of sample:	T3			
Date:	09/01/2018			
Operator:	ing. john gonzales			
Test after 30/60/90 Minutes				
Waterabsorption:	56.0 %			
Proving Time [min]:	30	60	90	
Energy [cm ²]:	97	101	109	
Resistance to Extension [BU]:	596	868	926	
Extensibility [mm]:	111	98	92	
Maximum [BU]:	654	872	947	
Ratio Number:	5.4	8.9	10.0	
Ratio Number (Max.):	5.9	8.9	10.3	
Remarks:	T3			

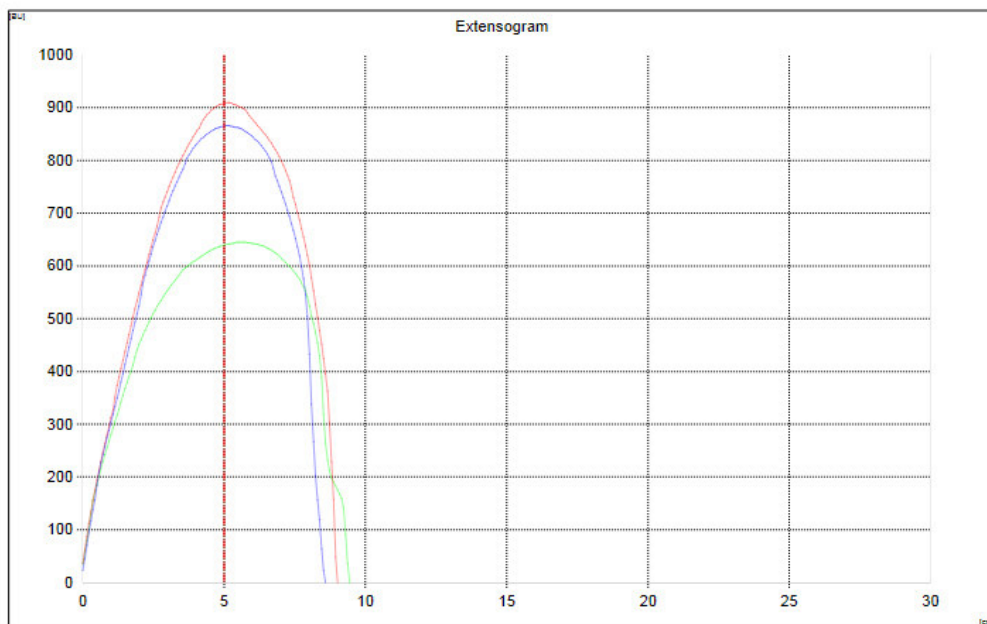


Test: C:\EXTENSOGRAFIA SERVICIOS\T3\T3.EXD

Figura 14

Análisis en el extensograma de tratamiento con 15 % de sustitución de harina de quinua

Brabender		Brabender® Extensograph		
Evaluation of sample:	T4			
Date:	11/01/2018			
Operator:	ing. john gonzales			
Test after 30/60/90 Minutes				
Waterabsorption:	56.0 %			
Proving Time [min]:	30	60	90	
Energy [cm ²]:	80	103	94	
Resistance to Extension [BU]:	640	909	866	
Extensibility [mm]:	95	90	86	
Maximum [BU]:	645	910	866	
Ratio Number:	6.8	10.1	10.1	
Ratio Number (Max.):	6.8	10.1	10.1	
Remarks:	T4			

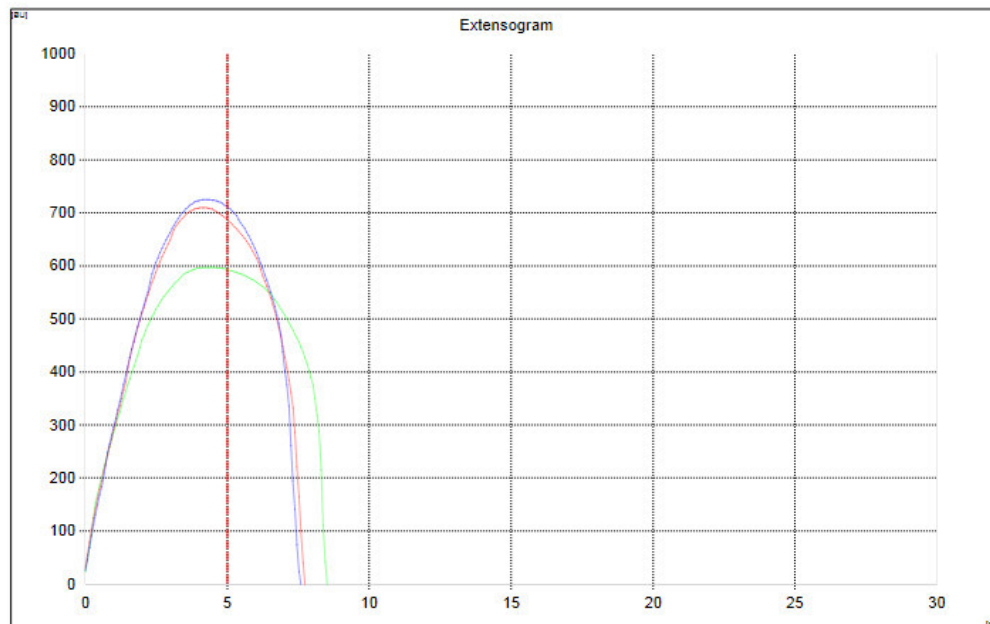


Test: C:\EXTENSOGRAFIA SERVICIOS\T4\T4.EXD

Figura 15

Análisis en el extensograma de tratamiento con 20 % de sustitución de harina de quinua

brabender		Brabender® Extensograph		
Evaluation of sample:	T5			
Date:	11/01/2018			
Operator:	ing. john gonzales			
Test after 30/60/90 Minutes				
Waterabsorption:	56.0 %			
Proving Time [min]:	30	60	90	
Energy [cm ²]:	70	70	70	
Resistance to Extension [BU]:	592	685	710	
Extensibility [mm]:	85	77	76	
Maximum [BU]:	597	710	725	
Ratio Number:	6.9	8.8	9.3	
Ratio Number (Max.):	7.0	9.2	9.5	
Remarks:	T5			



Test: C:\EXTENSOGRAFIA SERVICIOS\T5\T5.EXD

ANEXO 5

Resultado de pruebas reológicas en el amilógrafo

Figura 16

Análisis de amilograma de tratamiento con 5% de sustitución de harina de quinua

Brabender® Amylograph

Brabender®
Quality & Safety

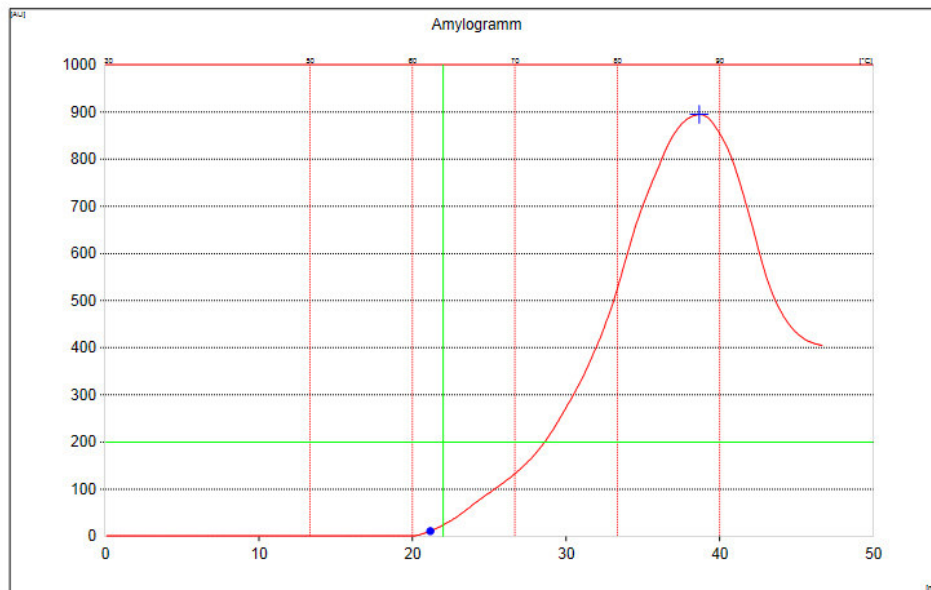
Flour - Amylogram (80.0 g / 450.0 ml)
 Evaluation of sample: T2
 Date: 08/01/2018 10:10
 Operator: Ing. John gonzales
 Heating rate: 1.5 °C/min

Moisture: 13.7 %
 Sample weight corr. to 14.0 % : (79.7 g / 450.3 ml)

Begin of gelatinization: 61.8 °C
 Gelatinization temperature: 88.0 °C
 Gelatinization maximum: 895 AU

Rye quality

Remarks: T2



Test: noname

Figura 17

Análisis de amilograma de tratamiento con 10% de sustitución de harina de quinua

Brabender® Amylograph

Brabender®

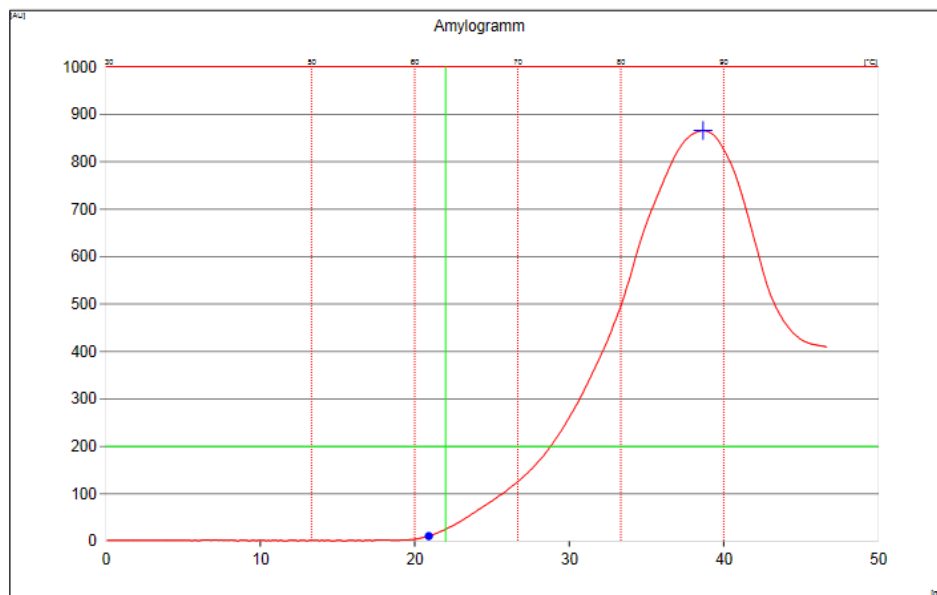
Flour - Amylogram (80.0 g / 450.0 ml)
 Evaluation of sample: T3
 Date: 08/01/2018 11:14
 Operator: Ing. John gonzales
 Heating rate: 1.5 °C/min

Moisture: 13.1 %
 Sample weight corr. to 14.0 % : (79.2 g / 450.8 ml)

Begin of gelatinization: 61.4 °C
 Gelatinization temperature: 88.0 °C
 Gelatinization maximum: 866 AU

Rye quality

Remarks: T3



Test: noname

Figura 18

Análisis de amilograma de tratamiento con 15 % de sustitución de harina de quinua

Brabender® Amylograph

Brabender
LABORATORY
 EQUIPMENT

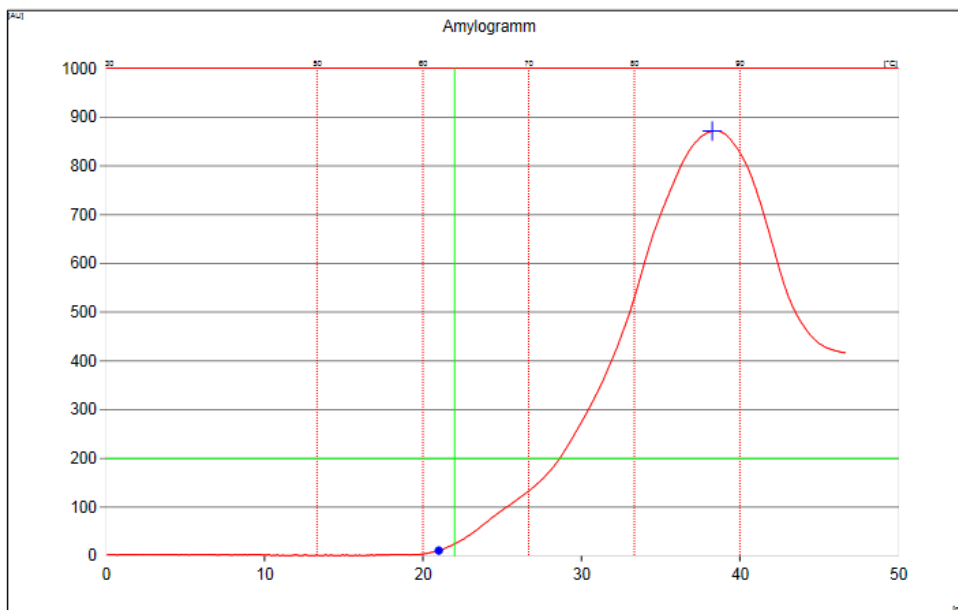
Flour - Amylogram (80.0 g / 450.0 ml)
 Evaluation of sample: T4
 Date: 08/01/2018 14:18
 Operator: Ing. John gonzales
 Heating rate: 1.5 °C/min

Moisture: 13.1 %
 Sample weight corr. to 14.0 % : (79.2 g / 450.8 ml)

Begin of gelatinization: 61.5 °C
 Gelatinization temperature: 87.4 °C
 Gelatinization maximum: 872 AU

Rye quality

Remarks: T4



Test: noname

Figura 19

Análisis de amilograma de tratamiento con 20 % de sustitución de harina de quinua

Brabender® Amylograph

Brabender® 1884 87 41
01 80 201 9

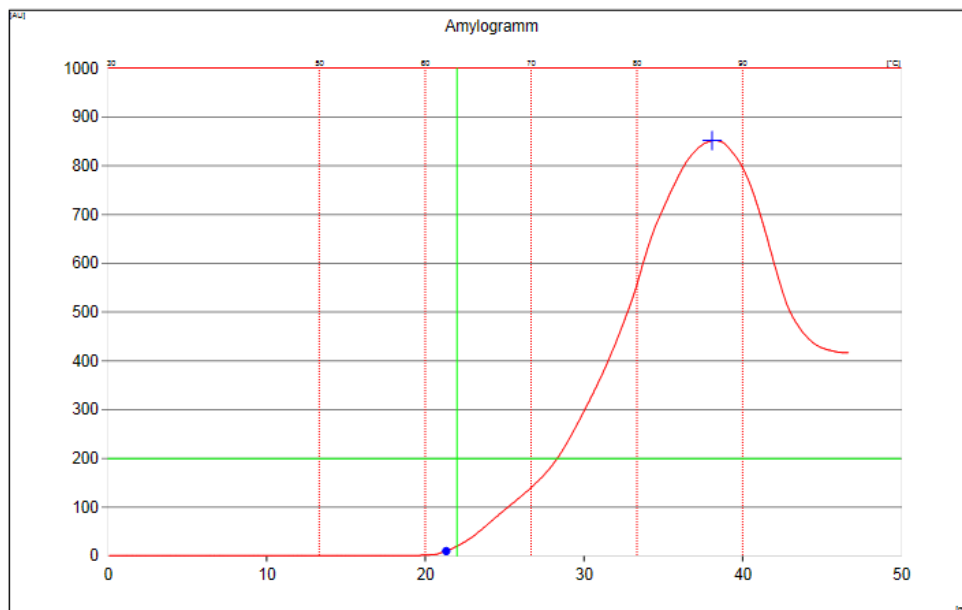
Flour - Amylogram (80.0 g / 450.0 ml)
 Evaluation of sample: T5
 Date: 08/01/2018 15:21
 Operator: Ing. John gonzales
 Heating rate: 1.5 °C/min

Moisture: 12.6 %
 Sample weight corr. to 14.0 % : (78.7 g / 451.3 ml)

Begin of gelatinization: 62.0 °C
 Gelatinization temperature: 87.1 °C
 Gelatinization maximum: 852 AU

Rye quality

Remarks: T5



Test: noname

ANEXO 6

Resultados estadísticos del triple interacción de variables

4. Temperatura * sustitución * tiempo

Variable dependiente: volumen

Temperatura	Sustitución	Tiempo	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	1	1	50,000	0,707	48,578	51,422
		2	52,500	0,707	51,078	53,922
		3	57,500	0,707	56,078	58,922
		4	60,500	0,707	59,078	61,922
		5	65,000	0,707	63,578	66,422
		6	69,500	0,707	68,078	70,922
	2	1	50,000	0,707	48,578	51,422
		2	52,500	0,707	51,078	53,922
		3	60,500	0,707	59,078	61,922
		4	64,500	0,707	63,078	65,922
		5	71,000	0,707	69,578	72,422
		6	75,500	0,707	74,078	76,922
	3	1	50,000	0,707	48,578	51,422
		2	54,500	0,707	53,078	55,922
		3	71,000	0,707	69,578	72,422
		4	76,500	0,707	75,078	77,922
		5	78,500	0,707	77,078	79,922
		6	91,000	0,707	89,578	92,422
	4	1	50,000	0,707	48,578	51,422
		2	72,500	0,707	71,078	73,922
		3	91,000	0,707	89,578	92,422
		4	94,500	0,707	93,078	95,922
		5	111,000	0,707	109,578	112,422
		6	118,500	0,707	117,078	119,922
2	1	1	50,000	0,707	48,578	51,422
		2	85,500	0,707	84,078	86,922
		3	103,000	0,707	101,578	104,422
		4	117,000	0,707	115,578	118,422
		5	131,000	0,707	129,578	132,422
		6	138,500	0,707	137,078	139,922
	2	1	50,000	0,707	48,578	51,422
		2	91,000	0,707	89,578	92,422
		3	108,500	0,707	107,078	109,922

		4	122,000	0,707	120,578	123,422	
		5	139,000	0,707	137,578	140,422	
		6	151,500	0,707	150,078	152,922	
	3		1	50,000	0,707	48,578	51,422
			2	99,500	0,707	98,078	100,922
			3	113,000	0,707	111,578	114,422
			4	127,000	0,707	125,578	128,422
			5	144,500	0,707	143,078	145,922
			6	154,500	0,707	153,078	155,922
	4		1	50,000	0,707	48,578	51,422
			2	90,500	0,707	89,078	91,922
			3	109,000	0,707	107,578	110,422
			4	122,500	0,707	121,078	123,922
			5	140,500	0,707	139,078	141,922
			6	151,000	0,707	149,578	152,422

ANEXO 7

Equipos de análisis reológico

Figura 20

Farinógrafo de Brabender utilizado para análisis de harinas

**Figura 21**

Extensógrafo de Brabender utilizado para análisis de harinas

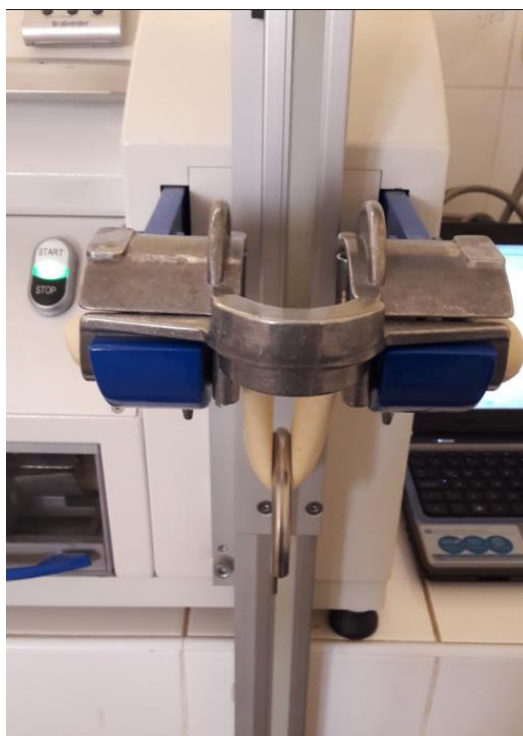
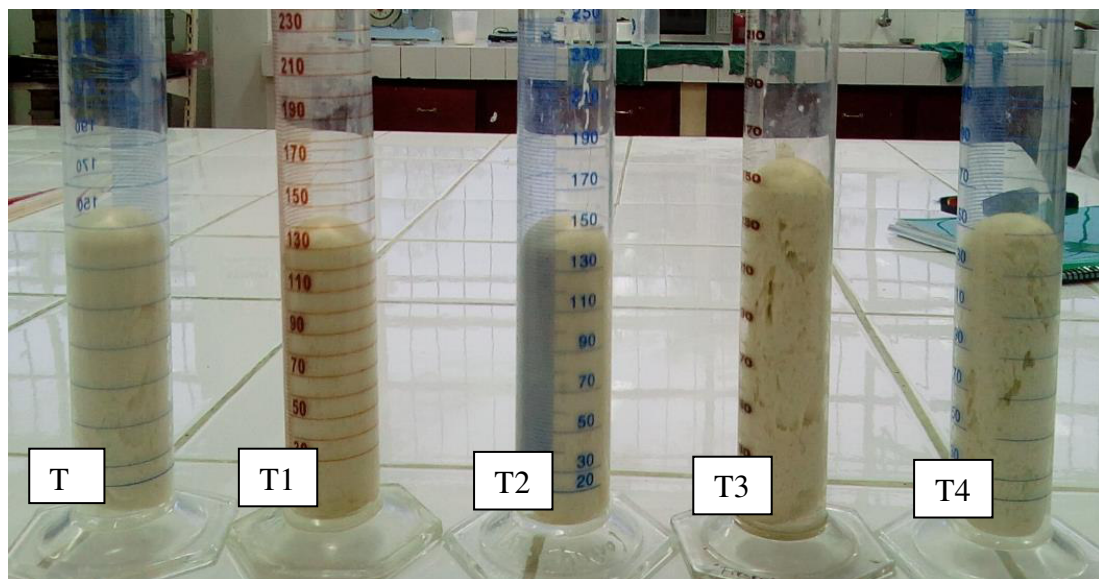


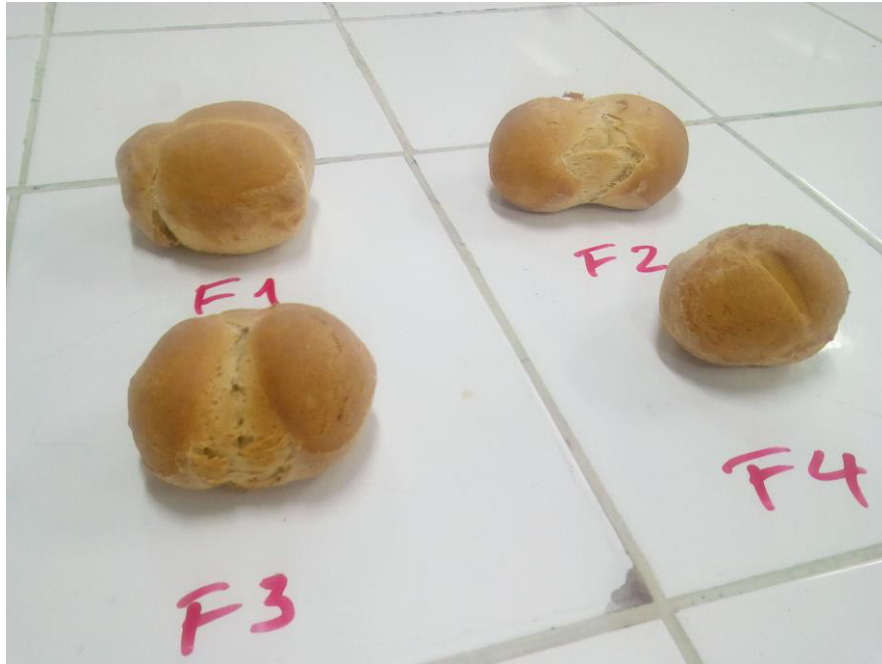
Figura 22

Amilógrafo de Brabender utilizado para análisis de harinas

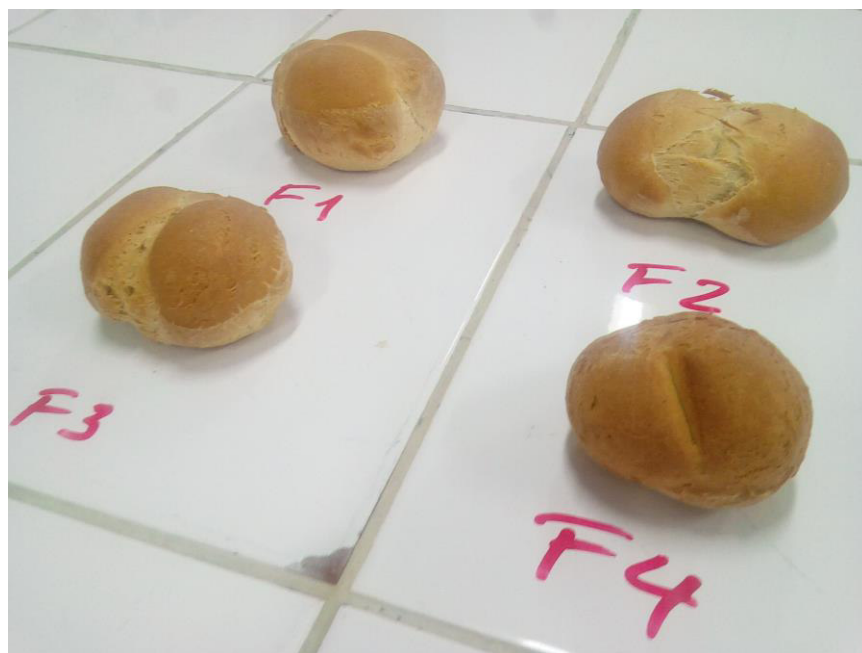
**Figura 23**

Volumen de masa fermentada de tratamientos (a 30°C)



ANEXO 8*Horneado de pan con quinua***Figura 24***Volumen de la masa fermentada de los tratamientos (a) y (b)*

Temperatura de cámara de fermentación: 25°C (a)



Temperatura de cámara de fermentación: 30°C (b)

ANEXO 9:
Documentos de análisis de muestras



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 001 - 2018

ANÁLISIS FARINOGRAFICO

MUESTRA: MEZCLA
CÓDIGO MUESTRA: T1

USUARIO: TRASMONTE PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: FARINOGRAFO AT
MARCA: BRABENDER

Fecha: 08 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Punto	Unidad	Valor	Evaluación	
			Valor	Descripción
T	mm:ss	20:01		Tiempo de medida
DT	°C	26.9		Temperatura de dosificación
DDT	mm:ss	04:25		Tiempo de desarrollo de la masa
C	FE	695		Consistencia
WZ	%	55.5		Absorción de agua
WAC	%	60.4		Absorción de agua corregida para consistencia
WAM	%	60.8		Absorción de agua corregida por humedad harina
S1	mm:ss	01:07		Stability/Arrival
S2	mm:ss	09:31		Stability/Departure
S	mm:ss	08:24		Estabilidad
MTI	FE	78		Índice de tolerancia (MTI)
FQN	mm	79		Número de calidad farinográfico
D	FE	155		Drop-off
TBD	mm:ss	07:54		Time to breakdown



Ms. Jorge Domínguez Castañeda
Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
Productos Agroindustriales



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 002 - 2018

ANÁLISIS FARINOGRAFICO

MUESTRA: MEZCLA

CÓDIGO MUESTRA: T2

USUARIO: TRASMONTE PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: FARINOGRAFO AT

MARCA: BRABENDER

Fecha: 08 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Evaluación			
Punto	Unidad	Valor	Descripción
T	mm:ss	20:01	Tiempo de medida
DT	°C	23.0	Temperatura de dosificación
DDT	mm:ss	04:53	Tiempo de desarrollo de la masa
C	FE	866	Consistencia
WZ	%	56.0	Absorción de agua
WAC	%	60.2	Absorción de agua corregida para consistencia
WAM	%	59.9	Absorción de agua corregida por humedad harina
S1	mm:ss	01:19	StabilityArrival
S2	mm:ss	09:13	StabilityDeparture
S	mm:ss	07:54	Estabilidad
MTI	FE	79	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	mm	80	Número de calidad farinografico
D	FE	147	Drop-off
TBD	mm:ss	08:00	Time to breakdown



J. Domínguez
Msc. Jorge Domínguez Castañeda
Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
Productos Agroindustriales



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 003 - 2018

ANÁLISIS FARINOGRÁFICO

MUESTRA: MEZCLA
CÓDIGO MUESTRA: T3

USUARIO: TRASMONTE PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: FARINOGRAFO AT

MARCA: BRABENDER

Fecha: 08 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Punto	Unidad	Valor	Evaluación	
				Descripción
T	mm:ss	20:01		Tiempo de medida
DT	°C	26.3		Temperatura de dosificación
DDT	mm:ss	03:57		Tiempo de desarrollo de la masa
C	FE	891		Consistencia
WZ	%	56.0		Absorción de agua
WAC	%	60.8		Absorción de agua corregida para consistencia
WAM	%	59.8		Absorción de agua corregida por humedad harina
S1	mm:ss	01:15		Stability/Arrival
S2	mm:ss	07:36		Stability/Departure
S	mm:ss	06:21		Estabilidad
MTI	FE	95		Índice de tolerancia (MTI)
FGN	mm	67		Número de calidad farinográfico
D	FE	183		Drop-off
TBD	mm:ss	06:41		Time to breakdown



Jorge Domínguez Castañeda
M.S. Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
Productos Agroindustriales



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 004 - 2018

ANÁLISIS FARINOGRÁFICO

MUESTRA: MEZCLA
CÓDIGO MUESTRA: T4

USUARIO: TRASMONTE PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: FARINOGRAFO AT
MARCA: BRABENDER

Fecha: 08 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Punto	Unidad	Valor	Evaluación	
			Descripción	
T	mm:ss	20.01	Tiempo de medida	
DT	°C	28.6	Temperatura de-dosificación	
DDT	mm:ss	04.14	Tiempo de desarrollo de la masa	
C	FE	745	Consistencia	
WZ	%	56.0	Absorción de agua	
WAC	%	62.1	Absorción de agua corregida para consistencia	
WAM	%	61.1	Absorción de agua corregida por humedad harina	
S1	mm:ss	01.11	Stability/Arrival	
S2	mm:ss	06.34	Stability/Departure	
S	mm:ss	05.23	Estabilidad	
MTI	FE	129	Índice de tolerancia (MTI)	
FCN	mm	58	Número de calidad farinográfico	
D	FE	220	Drop-off	
TBD	mm:ss	05.47	Time to breakdown	



 Ms. Jorge Domínguez Castañeda
 Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
 Productos Agroindustriales



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 005 - 2018

ANÁLISIS FARINOGRAFICO

MUESTRA: MEZCLA

CÓDIGO MUESTRA: T5

USUARIO: TRASMONTE PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: FARINOGRAFO AT

MARCA: BRABENDER

Fecha: 08 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Punto	Unidad	Valor	Evaluación	
				Descripción
T	mm:ss	20.01		Tiempo de medida
DT	°C	28.5		Temperatura de dosificación
DDT	mm:ss	03:40		Tiempo de desarrollo de la masa
C	FE	731		Consistencia
WZ	%	56.0		Absorción de agua
WAC	%	61.8		Absorción de agua corregida para consistencia
WAM	%	60.2		Absorción de agua corregida por humedad harina
S1	mm:ss	01:17		Stability/Amval
S2	mm:ss	06:06		Stability/Departure
S	mm:ss	04:50		Estabilidad
MTI	FE	129		Índice de tolerancia (MTI)
FGN	mm	54		Número de calidad farinográfico
D	FE	224		Drop-off
TBD	mm:ss	05:23		Time to break-down



Ms. Jorge Dominguez Castañeda
Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
Productos Agroindustriales



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 006 - 2018

ANÁLISIS AMIOLOGRAFICO

MUESTRA: MEZCLA

CÓDIGO MUESTRA: T1

USUARIO: TRASMONTA PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: AMIOLOGRAFO AT

MARCA: BRABENDER

Fecha: 08 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Brabender® Amylograph

Flour - Amylogram (80.0 g / 450.0 ml)
Evaluation of sample: T1
Date: 08/01/2018 08:43
Operator: Ing. John gonzales
Heating rate: 1.5 °C/min
Moisture: 14.3 %
Sample weight corr. to 14.0 % : (80.3 g / 449.7 ml)
Begin of gelatinization: 61.9 °C
Gelatinization temperature: 87.9 °C
Gelatinization maximum: 899 AU
Rye quality
Remarks: T1


Ms. Jorge Domínguez Castañeda
Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
Productos Agroindustriales



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 007 - 2018

ANÁLISIS AMIOLOGRAFO

MUESTRA: MEZCLA

CÓDIGO MUESTRA: T2

USUARIO: TRASMONTE PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: AMIOLOGRAFO AT

MARCA: BRABENDER

Fecha: 08 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Brabender® Amylograph

Flour - Amylogram (80.0 g / 450.0 ml)
Evaluation of sample: T2
Date: 08/01/2018 10:10
Operator: Ing. John gonzales
Heating rate: 1.5 °C/min

Moisture: 13.7 %
Sample weight corr. to 14.0 % : (79.7 g / 450.3 ml)

Begin of gelatinization: 61.8 °C
Gelatinization temperature: 88.0 °C
Gelatinization maximum: 895 AU

Rye quality
Remarks: T2



Ms. Jorge Domínguez Castañeda
Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
Productos Agroindustriales



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 008 - 2018

ANÁLISIS AMILOGRAFICO

MUESTRA: MEZCLA
CÓDIGO MUESTRA: T3

USUARIO: TRASMONTA PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: AMILOGRAFO AT
MARCA: BRABENDER

Fecha: 08 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Brabender® Amylograph

Flour - Amylogram (80.0 g / 450.0 ml)
Evaluation of sample: T3
Date: 08/01/2018 11:14
Operator: Ing. John gonzales
Heating rate: 1.5 °C/min

Moisture: 13.1 %
Sample weight corr. to 14.0 % : (79.2 g / 450.8 ml)

Begin of gelatinization: 61.4 °C
Gelatinization temperature: 88.0 °C
Gelatinization maximum: 866 AU

Rye quality
Remarks: T3



Ms. Jorge Domínguez Castañeda
Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
Productos Agroindustriales



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 009 - 2018

ANÁLISIS AMILOGRAFICO

MUESTRA: MEZCLA

CÓDIGO MUESTRA: T4

USUARIO: TRASMONTA PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: AMILOGRAFO AT

MARCA: BRABENDER

Fecha: 08 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Brabender® Amylograph

Flour - Amylogram (80.0 g / 450.0 ml)
Evaluation of sample: T4
Date: 08/01/2018 14:18
Operator: Ing. John gonzales
Heating rate: 1.5 °C/min

Moisture: 13.1 %
Sample weight corr. to 14.0 % : (79.2 g / 450.8 ml)

Begin of gelatinization: 61.5 °C
Gelatinization temperature: 87.4 °C
Gelatinization maximum: 872 AU

Rye quality
Remarks: T4



Ms. Jorge Domínguez Castañeda
Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
Productos Agroindustriales



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 010 - 2018

ANÁLISIS AMIOLOGRAFICO

MUESTRA: MEZCLA
CÓDIGO MUESTRA: T5

USUARIO: TRASMONTE PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: AMIOLOGRAFO AT
MARCA: BRABENDER

Fecha: 08 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Brabender® Amylograph

Flour - Amylogram (80.0 g / 450.0 ml)
Evaluation of sample: T5
Date: 08/01/2018 15:21
Operator: Ing. John gonzales
Heating rate: 1.5 °C/min

Moisture: 12.6 %
Sample weight corr. to 14.0 % : (78.7 g / 451.3 ml)

Begin of gelatinization: 62.0 °C
Gelatinization temperature: 87.1 °C
Gelatinization maximum: 852 AU

Rye quality

Remarks: T5



Ms. Jorge Domínguez Castañeda
Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
Productos Agroindustriales



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 011 - 2018

ANÁLISIS EXTENSOGRAFO

MUESTRA: MEZCLA

CÓDIGO MUESTRA: T1

USUARIO: TRASMONTA PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: EXTENSOGRAFO - E

MARCA: BRABENDER

Fecha: 09 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Brabender

Brabender® Extensograph

Evaluation of sample:	T1		
Date:	09/01/2018		
Operator:	ing. john gonzales		
Test after 30/60/90 Minutes			
Waterabsorption:	56.0 %		
Proving Time [min]:	30	60	90
Energy [cm ²]:	140	160	146
Resistance to Extension [BU]:	675	913	970
Extensibility [mm]:	131	136	110
Maximum [BU]:	828	1113	1122
Ratio Number:	5.2	6.7	8.8
Ratio Number (Max.):	6.3	8.2	10.2
Remarks:	T1		



Ms. Jorge Domínguez Castañeda
Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
Productos Agroindustriales



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 012 - 2018

ANÁLISIS EXTENSOGRAFO

MUESTRA: MEZCLA
CÓDIGO MUESTRA: T2

USUARIO: TRASMONTA PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: EXTENSOGRAFO - E
MARCA: BRABENDER

Fecha: 09 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Brabender

Brabender® Extensograph

Evaluation of sample:	T2		
Date:	09/01/2018		
Operator:	ing. john gonzales		
Test after 30/60/90 Minútes			
Waterabsorption:	56.0 %		
Proving Time [min]:	30	60	90
Energy [cm²]:	117	139	131
Resistance to Extension [BU]:	673	967	956
Extensibility [mm]:	119	103	116
Maximum [BU]:	781	1091	1025
Ratio Number:	5.7	9.4	8.3
Ratio Number (Max.):	6.6	10.6	8.9
Remarks:	T2		



Ms. Jorge Domínguez Castañeda
Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
Productos Agroindustriales



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 013 - 2018

ANÁLISIS EXTENSOGRAFO

MUESTRA: MEZCLA
CÓDIGO MUESTRA: T3

USUARIO: TRASMONTA PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: EXTENSOGRAFO - E
MARCA: BRABENDER

Fecha: 09 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Brabender

Brabender® Extensograph

Evaluation of sample:	T3		
Date:	09/01/2018		
Operator:	ing. john gonzales		
Test after 30/60/90 Minutes			
Waterabsorption:	56.0 %		
Proving Time [min]:	30	60	90
Energy [cm ²]:	97	101	109
Resistance to Extension [BU]:	596	868	926
Extensibility [mm]:	111	98	92
Maximum [BU]:	654	872	947
Ratio Number:	5.4	8.9	10.0
Ratio Number (Max):	5.9	8.9	10.3
Remarks:	T3		



Ms. Jorge Dominguez Castañeda
Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
Productos Agroindustriales



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 014 - 2018

ANÁLISIS EXTENSOGRAFO

MUESTRA: MEZCLA
CÓDIGO MUESTRA: T4

USUARIO: TRASMONTE PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: EXTENSOGRAFO - E
MARCA: BRABENDER

Fecha: 11 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Brabender

Brabender® Extensograph

Evaluation of sample:	T4		
Date:	11/01/2018		
Operator:	ing. john gonzales		
Test after 30/60/90 Minutes			
Waterabsorption:	56.0 %		
Proving Time [min]:	30	60	90
Energy [cm ²]:	80	103	94
Resistance to Extension [BU]:	640	909	866
Extensibility [mm]:	95	90	86
Maximum [BU]:	645	910	866
Ratio Number:	6.8	10.1	10.1
Ratio Number (Max.):	6.8	10.1	10.1
Remarks:	T4		



Ms. Jorge Dominguez Castañeda
Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
Productos Agroindustriales



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE AGROINDUSTRIA
Laboratorio de Análisis y Composición de los Productos
Agroindustriales

HOJA DE RESULTADOS N° 015 - 2018

ANÁLISIS EXTENSOGRAFO

MUESTRA: MEZCLA
CÓDIGO MUESTRA: T5

USUARIO: TRASMONTA PINDAY WILFREDO

ANALISTA: Ing. JOHN KELBY GONZALES CAPCHA

EQUIPO: EXTENSOGRAFO - E
MARCA: BRABENDER

Fecha: 11 de Enero del 2018.

RESULTADOS:

Brabender

Brabender® Extensograph

Evaluation of sample:	T5		
Date:	11/01/2018		
Operator:	ing. john gonzales		
Test after 30/60/90 Minutes			
Waterabsorption:	56.0 %		
Proving Time [min]:	30	60	90
Energy [cm ²]:	70	70	70
Resistance to Extension [BU]:	592	685	710
Extensibility [mm]:	85	77	76
Maximum [BU]:	597	710	725
Ratio Number:	6.9	8.8	9.3
Ratio Number (Max.):	7.0	9.2	9.5
Remarks:	T5		



Ms. Jorge Domínguez Castañeda
Jefe Laboratorio de Análisis y Composición de
Productos Agroindustriales