

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“ELABORACIÓN DE PAN DE MOLDE CON SUSTITUCIÓN  
PARCIAL DE HARINA DE QUINUA Y TARWI”**

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

Presentado por:

**CARLA PAMELA GUTIERREZ CASTILLO**

**LIMA – PERÚ**

**2022**

---

La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**  
**LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
**“ELABORACIÓN DE PAN DE MOLDE CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE QUINUA Y TARWI”**

Presentado por:

CARLA PAMELA GUTIERREZ CASTILLO

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

---

Mg. Sc. Gloria J. Pascual Chagman  
PRESIDENTE

---

Jenny D.C. Valdez Arana, PhD.  
MIEMBRO

---

Laura D.R. Linares García, PhD.  
MIEMBRO

---

Dr. Christian Encina Zelada  
ASESOR

---

Dr. Dario Marcelino Cabezas  
CO-ASESOR

**LIMA – PERÚ**

**2022**

## DEDICATORIA

*A Dios por protegerme durante todo mi camino y darme la fuerza necesaria para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.*

*A mi padre Agustín Sergio Gutiérrez Huaman, el ángel que ahora me acompaña y guía siempre; sé lo orgulloso que estaría de este logro.*

*A mi madre Antonia Castillo Galindo, que siempre confío en mí; mis logros son los suyos también.*

*A mis hermanos, Fernando y Roger, mis primas, Gaby y Cindy, quienes siempre están apoyándome desde el lugar donde se encuentren.*

*A Kevin, mi mejor amigo, amor y soporte, que tengo la suerte de tener en mi vida.*

## AGRADECIMIENTO

- A mi familia y en especial a los pilares de mi vida, mis padres, quienes me brindaron todo el apoyo incondicional para poder realizar la tesis.
- A mis asesores, el Dr. Christian Encina y Dr. Dario Cabezas, quienes, con su valiosa experiencia científica, contribuyeron en el resultado de esta investigación, sobre todo agradecerle a cada uno por sus enseñanzas y disposición brindada en el desarrollo en cada etapa de mi tesis.
- A los investigadores del proyecto GRANPAN, por la confianza en mi persona en formar parte del proyecto y brindarme todas las facilidades para utilizar las instalaciones del Centro de Investigación e Innovación en Productos Derivados de Cultivos Andinos (CIINCA) de la Facultad de Industrias Alimentarias (FIAL).
- A mis compañeros y amigos del proyecto GRANPAN, Roberth, Álvaro y Katheryn, por sus consejos y ayuda durante el desarrollo de la tesis.
- A mis amigos °Brix de mi facultad, Sandrita, Ale, Isa, Chio, Nicol, Mili y Yefri, con quienes compartí muy buenos momentos en la universidad y nos ayudamos mutuamente ante cualquier dificultad, gracias por su amistad sincera.
- Al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico, y de Innovación Tecnológica FONDECYT, por haberme otorgado el financiamiento en el desarrollo de la presente investigación como parte del proyecto: “Inclusión de granos andinos: kiwicha, quinua, kañiwa y tarwi, para el desarrollo de productos nutritivos de panificación” (Convenio de Subvención N° 050-2019-FONDECYT).

# ÍNDICE GENERAL

## RESUMEN

## ABSTRACT

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. TRIGO.....	3
2.1.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TRIGO .....	5
2.2. QUINUA.....	6
2.2.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA QUINUA.....	7
2.3. TARWI .....	8
2.3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TARWI .....	9
2.4. OBTENCIÓN DE HARINA DE CULTIVOS ANDINOS .....	11
2.5. CARBOHIDRATOS.....	12
2.5.1. ALMIDÓN .....	13
2.5.2. OLIGOSACÁRIDOS .....	14
2.5.3. FIBRA ALIMENTARIA.....	15
2.6. REOLOGÍA DE MASAS .....	15
2.6.1. EQUIPOS PARA ANÁLISIS REOLÓGICOS .....	15
2.7. TEXTURA DE LOS ALIMENTOS .....	20
2.8. PAN DE MOLDE.....	23
2.8.1. CLASIFICACIÓN.....	23
2.8.2. REQUISITOS FÍSICOQUÍMICOS DEL PAN DE MOLDE .....	24
2.8.3. INSUMOS PRINCIPALES .....	24
2.8.4. MÉTODOS DE ELABORACIÓN DE PAN DE MOLDE .....	27
2.8.5. PRINCIPALES ETAPAS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PAN.....	27
2.9. CALIDAD DEL PAN .....	30
2.10. UTILIZACIÓN DE HARINAS SUCEDÁNEAS EN PANIFICACIÓN PARA LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO.....	31
2.11. DISEÑO DE MEZCLAS .....	32
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>34</b>
3.1. LUGAR DE ESTUDIO .....	34

3.2. MATERIAS PRIMAS E INSUMOS .....	34
3.2.1. MATERIAS PRIMAS .....	34
3.2.2. INSUMOS .....	34
3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y PROGRAMAS .....	35
3.3.1. MATERIALES .....	35
3.3.2. EQUIPOS .....	35
3.3.3. PROGRAMAS .....	35
3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS .....	36
3.4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS Y MEZCLAS .....	36
3.4.2. ANÁLISIS A LAS MASAS .....	39
3.4.3. ANÁLISIS AL PAN CON SUSTITUCIÓN .....	40
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	43
3.5.1. ELABORACIÓN DE PAN DE MOLDE CON SUSTITUCIÓN .....	43
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	47
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	51
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>52</b>
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS .....	52
4.1.1. ANÁLISIS PROXIMAL .....	52
4.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE HARINAS .....	54
4.2.1. PERFIL VISCOAMILOGRÁFICO DE LAS MEZCLAS DE HARINAS .....	54
4.2.2. PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LAS MEZCLAS DE HARINAS .....	58
4.3. CARACTERIZACION DE LAS MASAS .....	63
4.3.1. ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA EN LAS MASAS .....	63
4.4. ANÁLISIS AL PAN DE MOLDE SUSTITUIDO .....	66
4.4.1. ANÁLISIS DE COLOR DEL PAN DE MOLDE SUSTITUIDO .....	66
4.4.1. PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL PAN DE MOLDE SUSTITUIDO .....	68
4.4.2. ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA Y ESTABILIDAD DEL PAN .....	81
4.5. OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE LAS VARIABLES RESPUESTA EN EL PAN DE MOLDE SUSTITUIDO .....	92
4.6. VALIDACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA .....	95
4.7. CARACTERIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA .....	97
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>100</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>102</b>

<b>VII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>103</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>115</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Intervalo del contenido de la composición química del trigo .....	5
Tabla 2: Intervalo de variación del contenido de la composición química de la quinua (%)	7
Tabla 3: Composición química del tarwi (%).....	9
Tabla 4: Composición del contenido de ácidos grasos en el tarwi.....	10
Tabla 5: Requisitos fisicoquímicos del pan de molde (%) .....	24
Tabla 6: Configuraciones instrumentales definidas en el Mixolab según Protocolo Chopin + .....	39
Tabla 7: Formulación de pan de molde sustituido.....	43
Tabla 8: Restricciones mínimas y máximas de los componentes de harinas .....	47
Tabla 9: Proporciones de los tratamientos formulados de acuerdo al diseño de mezcla ....	48
Tabla 10: Valores medios de la composición proximal de las harinas (b.s) .....	52
Tabla 11: Perfil viscoamilográfico de las mezclas de harinas.....	55
Tabla 12: Propiedades reológicas de las mezclas de harina durante el calentamiento.....	58
Tabla 13: Propiedades reológicas de las mezclas de harinas en el enfriamiento .....	62
Tabla 14: Propiedades texturales de las masas sustituidas por formulación .....	64
Tabla 15: Análisis de color del pan de molde sustituido.....	67
Tabla 16: Propiedades fisicoquímicas del pan de molde sustituido .....	69
Tabla 17: Modelos predictivos sobre las propiedades fisicoquímicas del pan.....	70
Tabla 18: Resumen estadístico del análisis de varianza (ANOVA) y bondad de ajuste sobre las propiedades fisicoquímicas del pan .....	71
Tabla 19: Propiedades texturales y estabilidad del pan sustituido .....	81

Tabla 20: Modelo predictivo sobre las propiedades texturales y estabilidad del pan .....	82
Tabla 21: Resumen estadístico de análisis de varianza (ANOVA) y bondad de ajuste sobre las propiedades texturales del pan de molde sustituido y su estabilidad .....	84
Tabla 22: Condiciones aplicadas en la optimización de las variables respuesta en el pan de molde sustituido.....	94
Tabla 23: Valores experimentales analizadas a la formulación óptima .....	96
Tabla 24: Rangos de validación de las variables respuestas analizadas para la formulación óptima.....	96
Tabla 25: Caracterización de la formulación óptima.....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de los carbohidratos .....	12
Figura 2: Factores influyentes en la retrogradación del almidón .....	14
Figura 3: Curva registrada de Mixolab. 1: Mezcla, 2: Debilitamiento de proteínas, 3: Gelatinización del almidón, 4: Estabilidad de cocción, 5: Enfriamiento .....	18
Figura 4: Parámetros específicos medidos en la curva del Mixolab .....	19
Figura 5: Alveograma.....	20
Figura 6: Principio de compresiones sucesivas requerido para el perfil de textura (a) Acción descendente durante la primera y segunda compresión (b) acción ascendente durante la primera y segunda compresión .....	21
Figura 7: Curva de análisis de perfil de textura. Valores de (a) es la dureza, (b) la adhesividad, (d)/(c) es la cohesividad, (f)/(e) es la elasticidad, (a)x(d)/(c) es la gomosidad y (a)x(d)x(f)/((c)x(e)) es la masticabilidad .....	22
Figura 8: Espacio de los factores para a) una mezcla de tres componentes, b) un sistema Simplex de tres componentes .....	33
Figura 9: Flujo de operaciones para la obtención de pan de molde con sustitución .....	46
Figura 10: Etapas de la investigación de pan de molde con sustitución parcial de harina de quinua y tarwi .....	49
Figura 11: Diseño experimental de la investigación acerca de pan de molde con sustitución parcial de harina de quinua y tarwi.....	50
Figura 12: Comportamiento de la viscosidad de la pasta en las formulaciones F1, F2, F5 y F10.....	56
Figura 13: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) sobre el volumen específico .....	73
Figura 14: Imagen en 3D de los panes F1, F2, F4 y F5 obtenidas por topografía láser .....	74

Figura 15: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) sobre el void fraction.....	76
Figura 16: Imágenes del alveolado de la miga de pan de las 11 formulaciones del pan sustituido elaborado mediante la variación de harina de trigo (HT), harina de quinua (HQ) y harina de tarwi (HW). (Barras de escala = 1 cm) .....	77
Figura 17: Gráfico de contorno bidimensional que muestran el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) sobre el contenido proteico .....	78
Figura 18: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) sobre la luminosidad de la corteza del pan.....	80
Figura 19: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) sobre la dureza del pan .....	86
Figura 20: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) en la cohesividad del pan .....	87
Figura 21: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) sobre la elasticidad del pan.....	88
Figura 22: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) en la masticabilidad.....	89
Figura 23: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) sobre el setback de las mezclas de harinas .....	90
Figura 24: Gráfico de deseabilidad tridimensional de la formulación óptima predicha determinadas por análisis de función de deseabilidad.....	95

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Gráficos de respuesta tridimensionales de las propiedades fisicoquímicas del pan de molde sustituido.....	115
ANEXO 2: Gráficos de respuesta tridimensionales de las propiedades texturales del pan de molde sustituido.....	116
ANEXO 3: Gráfico de respuesta tridimensional de las propiedades reológicas de las mezclas de harinas.....	117
ANEXO 4: Elección de la mejor formulación según función de deseabilidad .....	118
ANEXO 5: Pruebas reológicas del Mixolab de la formulación óptima (80% trigo, 13.29% quinua, 3.71 %tarwi) .....	119
ANEXO 6: Elaboración y obtención del pan óptimo .....	120

## RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo como objetivo elaborar un pan de molde sustituido con harina de quinua y tarwi, con el fin de evaluar el efecto de estas harinas en las propiedades reológicas y viscoamilográficas de las formulaciones, como la viscosidad de empastado, retrogradación del almidón; así como también en las características fisicoquímicas y texturales del producto final. Asimismo, se buscó encontrar una formulación con buena calidad panadera (mayor volumen, suavidad, estabilidad y contenido nutricional) con el fin de que sea aceptable por el consumidor. Se utilizó un diseño de mezclas, que consistió en obtener once formulaciones con distintas proporciones de harina de trigo, quinua y tarwi; se observó un efecto positivo de la harina de quinua en las propiedades texturales (dureza y cohesividad) tanto en masas como en panes, mientras que el tarwi presentó un efecto negativo frente a estas características mencionadas y sobre el volumen del pan. Se realizó una optimización simultánea de las variables respuesta más importantes, estas fueron: volumen específico (mL/g), dureza (N), contenido proteico (g proteína/100 g de pan) y *setback* (Mixolab, N.m). La optimización simultánea tuvo como objetivo minimizar la dureza y el *setback*, así como también, maximizar el contenido de proteínas y el volumen específico. En función a estas condiciones para las variables respuestas, la formulación óptima tuvo: 80 % de trigo, 16.29 % de quinua y 3.71 % de harina de tarwi, manteniendo constante el porcentaje del resto de insumos. El pan de molde sustituido presentó valores de:  $2.14 \pm 0,05$  mL/g,  $4.49 \pm 0,04$  N,  $14.20 \pm 0,02$  % p/p y  $0.68 \pm 0,04$  N para volumen específico, dureza, proteínas y *setback*, respectivamente. La caracterización fisicoquímica presentó apropiados valores de pH (5.70),  $a_w$  (0.97) y humedad (35.7 % p/p).

**Palabras clave:** harina de quinua, harina de tarwi, reología, diseño de mezclas, análisis de perfil de textura

## ABSTRACT

The objective of the research work was to elaborate a sliced bread substituted with quinoa and tarwi flour, in order to evaluate the effect of these flours on the rheological and viscoamylographic properties of the formulations, like viscosity of pasting, setback, as well as on the characteristics physicochemical and textural properties of the final product. Also, find a formulation with good bakery quality (greater volume, softness, stability and nutritional content of the bread) in order to make it acceptable to the consumer; a positive effect of quinoa flour was observed on the textural properties (hardness and cohesiveness) both in doughs and in breads, while tarwi had a negative effect against these mentioned characteristics and on the volume of the bread. The mixture design was used, which consisted in obtaining once formulations with different proportions of wheat flour, quinoa and tarwi; where simultaneous optimization of the most important variables desired responses was applied, these were: specific volume (mL / g), hardness (N), protein content and setback (N.m). The simultaneous optimization aimed to minimize hardness and setback as well as maximize the protein content and specific volume, depending on these conditions for the response variables, the optimal formulation had: 80 percent of wheat flour, 16.29 percent of quinoa flour and 3.71 percent of tarwi flour, keeping the percentage of the rest of the inputs constant. The substituted sliced bread presented values of:  $2.14 \pm 0.05$  mL / g,  $4.49 \pm 0.04$ N,  $14.20 \pm 0.02$  % w/w). and  $0.68 \pm 0.04$  N for specific volume, hardness, proteins and recoil respectively. The physicochemical characterization showed excellent values of pH (5.70), aw (0.97) and moisture (35.7% w/w).

**Keywords:** quinoa flour, tarwi flour, rheology, mix design, texture profile analysis

## I. INTRODUCCIÓN

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018), el 37.3 % de la población entre 18 y 59 años tiene sobrepeso y un 22.7% padece de obesidad en el Perú, por lo que siguen siendo un problema a solucionar en la actualidad. Debido a ello, existe una tendencia de consumir productos saludables, ya que los consumidores actuales demandan productos con beneficios para la salud, debidamente procesados y cumpliendo con las características de calidad requeridas.

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y el tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) son granos originarios de la región andina desde hace miles de años con una importante producción en Perú, Ecuador y Bolivia (Bewley *et al.*, 2006). Los granos andinos, a diferencia de los cereales como el trigo, tienen la ventaja de ser menos exigentes en las condiciones de cultivo (Rosentrater y Evers, 2018). De ahí su peculiaridad de poseer una gran facilidad de adaptación y con ello una alta disponibilidad en las zonas alto andinas que son cosechados por más de 143 mil productores en nuestro país (Ministerio de Agricultura, 2018). Por otro lado, el trigo, teniendo una producción escasa en el país, cerca del 90% del trigo que requiere el mercado, es importado (Henaos-Osorio y Aritzabal-Galvis, 2009).

Desde el punto de vista nutricional, la quinua tiene un alto contenido de fibra dietaria y de proteínas de alta calidad biológica y una composición equilibrada de aminoácidos, siendo ricas en lisina y otros aminoácidos esenciales que se encuentran presentes en escasas cantidades en el trigo (Repo-Carrasco *et al.*, 2003). Mientras que el tarwi ocupa el primer puesto en términos de propiedades nutricionales, sobre todo por la cantidad de proteína que brinda (44,3 g/100g), las cuales complementan a la quinua por la composición de sus aminoácidos limitantes como metionina (MINAGRI, 2018).

En este sentido, los panes sustituidos por granos andinos son considerados vehículos de un alto número de nutrientes por los consumidores que apuestan por productos que beneficien su salud. Actualmente existen escasas investigaciones sobre el uso de porcentajes de sustitución adecuados en mezclas de harinas a base de estos granos (quinua y tarwi) para conocer los efectos de interacción que dichos ingredientes pueden tener tanto en las características de las masas como en el producto final, complementando así los atributos que cada uno posee en la elaboración del pan.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general elaborar un pan de molde sustituyendo harina de trigo con harina de quinua y tarwi. Los objetivos específicos fueron determinar el efecto de las harinas sucedáneas sobre las propiedades reológicas y viscoamiloalógicas en las mezclas de harinas y propiedades texturales en las masas; asimismo, determinar su efecto sobre la calidad del pan de molde, mediante la determinación del volumen específico, color, dureza y porosidad. Posteriormente, elegir la formulación con mejores características de dureza, volumen, *setback* y contenido de proteínas; realizar la validación estadística de la formulación óptima. Por último, caracterizar al pan de molde óptimo desde el punto de vista físico-químico (pH, humedad, pérdida por cocción y actividad de agua) y composición proximal.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. TRIGO

El trigo es un cereal proveniente de una planta herbácea de la familia Gramínea y género denominado *Triticum* con orígenes en la antigua Mesopotamia, y junto al arroz y maíz, son los cereales más consumidos en el mundo (Cauvain y Young, 2009).

Existe un desbalance entre la alta demanda de harina de trigo y la producción de este grano en el país; cuyas causas derivan en la falta de tierras adecuadas, precios internacionales fluctuantes, subsidios y la alta tecnología de países desarrollados que lo producen e importan hacia nuestro país (Henao-Osorio y Aritizabal-Galvis, 2009).

Según Peña *et al.* (1991), el trigo es clasificado en 5 grupos por características generales y su uso industrial:

- **Grupo 1** (Trigos de gluten extensible y fuerte): Son los granos que tienen el endospermo duro a semiduro el cual es mayormente utilizado para la panificación mecanizada, el que da mejor calidad a los trigos que tienen menor fuerza de gluten.
- **Grupo 2** (Trigos de fuerza media y extensible): Tienen los granos el endospermo duro a semi-duro el cual es utilizado en la panificación manual y semi-mecanizada.
- **Grupo 3** (Trigos de fuerza débil y extensible): Granos con el endospermo suave y se utiliza en la línea de galletería, repostería y panificación artesanal.
- **Grupo 4** (Trigos de fuerza media y consistente): Son aquellos granos que tienen el endospermo duro a semi-duro y no son panificables y mayormente son usados en algunos productos de pastelería.
- **Grupo 5** (Trigos fuertes y consistentes): Son los que tienen el endospermo muy duro y cristalino y que no es panificable es el cual se utiliza para elaborar pastas nutritivas.

Según la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (2002), el trigo común de la especie *T. aestivum*, es conocido como trigo duro o blando (dependiendo de la dureza del grano) y abarca entre un 90 y 95% de la producción mundial de trigo. El uso de este cereal denominado trigo panadero es principalmente como harina para la producción de una amplia variedad de productos horneados, siendo los panes fermentados y planos, los que se fabrican en mayor cantidad.

El resto es principalmente trigo duro (*T. durum*), que se utiliza para producir sémola (harina gruesa), es la principal materia prima para la fabricación de pasta (FAO, 2002). La mayor dureza esta especie, se relaciona principalmente con una fuerte adherencia entre la proteína y el almidón, produciendo una harina con una alta granulometría (Edel y Rosell, 2007).

La molienda del trigo para la obtención de harina consiste en la separación del endospermo que contiene el almidón de las otras partes del grano, de esta manera se eliminan la cascarilla (salvado) y el germen. La harina de trigo resultante debe contener entre un 65 y 70% de almidones, al igual que un 9 y 14% de proteínas, donde la gliadina y gluteína son uno de los más importantes componentes ya que son formadoras de gluten (Arone, 2015).

El trigo es el cereal principal para la elaboración de pan, la proteína llamada gluten, genera que la masa de pan tenga la capacidad de retener gas, siendo un alimento básico nacional en varios países, cuya gran parte del trigo utilizado para la alimentación del ganado y las aves de corral es un subproducto de la industria de molienda de harina (David *et al.*, 2015)

La importancia del trigo radica principalmente del hecho de que la semilla se puede transformar en harina. Asimismo, forma el ingrediente básico del pan y otros productos de panadería presentando la principal fuente de nutrientes para la mayor parte de la población (David *et al.*, 2015). En otras palabras, las aplicaciones del trigo se encuentran en la fabricación de harinas, sémolas, harina integral y malta, así como también subproductos elaborados a partir de ellas tales como panes, galletas, cupcakes, cereales para el desayuno, fideos, etc. (López y Paredes, 2018).

### 2.1.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TRIGO

El trigo está compuesto por nutrientes, entre ellos: carbohidratos, proteínas, grasas, minerales y vitaminas; los cuales se observan a detalle en la Tabla 1.

**Tabla 1: Intervalo del contenido de la composición química del trigo**

Componentes	Mínimo	Máximo
Humedad (%)	8	18
Proteína (%)	7	18
Ceniza (%)	1.5	2
Lípidos (%)	1.5	2
Fibra cruda (%)	1.7	3.4
Almidón (%)	60	68.9
Carbohidratos (%)	68	87

FUENTE: Alasino *et al.* (2008)

El gluten es la porción proteica que otorga las características panificables debido a que tiene la capacidad de ligar los ingredientes a la harina durante el proceso de panificación, es capaz de encapsular el gas carbónico (CO<sub>2</sub>) propio de la fermentación, producido por la acción enzimática de las levaduras sobre los azúcares, dando lugar a la formación de la miga en los productos de panificación (Vega, 2009).

La gliadina y glutenina cumplen una función específica, de allí que las gliadinas son proteínas monoméricas capaces de brindar viscosidad al gluten, mientras que las gluteninas (elevado peso molecular), se encuentran formando grandes agregados proteicos, enlazados por puentes disulfuro y fuerzas no covalentes intermoleculares que proporcionan la fuerza y elasticidad del gluten (Edel y Rosell, 2007).

Además del gluten, entre las proteínas presentes en el grano de trigo, las enzimas resaltan por su impacto funcional. Las principales enzimas hidrolíticas que actúan sobre los hidratos de carbono presentes en los cereales son  $\alpha$ - y  $\beta$ -amilasas, enzimas desramificantes, celulasas,  $\beta$ -gluconasas y glucosidasas así como también un gran número de enzimas proteolíticas, como: endopeptidasas (cortan enlaces peptídicos a determinada distancia desde los extremos de las moléculas de proteínas), exopeptidasas (atacan los extremos carboxílicos o amínicos de las proteínas). Otro grupo importante de enzimas son las lipasas, esterasas y fosfatasas; las dos primeras se diferencian en su capacidad para hidrolizar ésteres carboxílicos a partir de moléculas insolubles o solubles en agua, respectivamente; mientras que las fosfatasas actúan sobre ésteres del ácido fosfórico (Edel y Rosell, 2007).

## 2.2. QUINUA

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es una planta alimenticia de origen andino (Bolivia, Perú y Ecuador), donde los incas y las culturas preincaicas la consideraron como un alimento sagrado debido a su alto valor nutricional; además de poseer una extraordinaria versatilidad para adaptarse a diferentes zonas agroecológicas, es decir, adaptables a climas calurosos y secos, donde la altura se aproxima hasta 4000 msnm y climas húmedos con un rango de humedad entre 40-88%, asimismo esta planta resiste temperaturas desde -8°C hasta 38°C (Repo-Carrasco *et al.*, 2003).

Según Apaza *et al.* (2013), la quinua fue considerada en 1996 por la FAO como uno de los cultivos promisorios de la humanidad para combatir los graves problemas de desnutrición humana debido a sus grandes propiedades nutricionales y múltiples usos.

La quinua es un pseudocereal perteneciente a la subfamilia *Chenopodioideae* de las amarantáceas (Arone, 2015). Se le denomina pseudocereal porque no pertenece a la familia de las gramíneas en que se encuentran los cereales “tradicionales”, pero por su alto contenido de carbohidratos, principalmente de almidón (50-60%) trae como consecuencia su uso como un cereal; no obstante, contiene un mayor porcentaje de grasa y proteínas que en los cereales (Tapia, 2015).

Por otro lado, la quinua tiene como factor limitante para su consumo y/o empleo de tecnologías de procesamiento a las saponinas en el epispermo, la cual debe ser eliminada mediante la fricción y lavado del grano (Edel y Rosell, 2007).

### 2.2.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA QUINUA

Edel y Rosell (2007) expresan que la composición química de la quinua varía según las variedades o ecotipos, asimismo, la mayor parte de la proteína de la semilla está localizada en el germen, que abraza un 30% del peso total de la semilla.

Los granos de quinua están compuestos por nutrientes, entre ellos: carbohidratos, proteínas, grasas, minerales y vitaminas; los cuales se observan a detalle en la Tabla 2.

**Tabla 2: Intervalo de variación del contenido de la composición química de la quinua (%)**

Componentes	Mínimo	Máximo
Humedad (%)	10	13
Proteína (%)	12	19
Ceniza (%)	3	4
Grasa (%)	5	10
Fibra cruda (%)	2	3
Carbohidratos (%)	61	74

FUENTE: Ahamed *et al.* (1998)

Según la Tabla 2, el grano de quinua no contiene un porcentaje mayoritario de proteínas (12-19%), sin embargo, la calidad nutricional es destacable por la calidad de sus proteínas.

Repo-Carrasco *et al.* (2003) menciona que las proteínas de quinua son principalmente del tipo albumina y globulina (solubles), las cuales contienen una composición balanceada de

aminoácidos esenciales parecida a la composición aminoacídica de la caseína, proteína de la leche.

Asimismo, la lisina un aminoácido limitante en cereales, no obstante, en la quinua se encuentra contenido en doble respecto a otros cereales comunes como el trigo (Repo-Carrasco *et al.*, 2003). Una desventaja de este compuesto (lisina) es que es termolábil por lo que puede reaccionar en calor, por ejemplo, durante la reacción de Maillard, reduciendo su biodisponibilidad (Edel y Rosell, 2007), especialmente en tostado o reventado de granos.

### **2.3. TARWI**

El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) es una planta herbácea con la capacidad de crecer en suelos ácidos o de baja fertilidad, en zonas ubicadas entre 2000 y 3800 m.s.n.m., conocidos como valles interandinos y zonas del altiplano. En el Perú, entre las regiones de mayor producción de este cultivo se destacan Cusco, Puno, Ancash, Huancavelica, Junín, La Libertad, Ayacucho, Huánuco, Cajamarca y Amazonas (MINAGRI, 2018).

El tarwi contiene un alto nivel nutritivo debido a su constitución compuesta principalmente por proteínas y aceites abarcando más del 50% de su peso; investigaciones en en más de 30 ecotipos de tarwi de diferentes regiones de los Andes peruanos revelan que la proteína se encuentra entre 41 y 47 % mientras que el aceite, entre 15 y 20.1 % (Briceño *et al.*, 2021).

La única desventaja del grano de tarwi es que requiere un proceso de desamargado previo a su consumo, ya que se tiene que eliminar las sustancias amargas, tóxicas y antinutricionales conocidas como alcaloides, que son aquellas sustancias que brindan protección contra el ataque de insectos contra el grano (MINAGRI, 2018).

El contenido de alcaloides se encuentra entre 0.3-3% (Edel y Rosell, 2007), mientras que otro autor menciona que posee alto contenido de alcaloides quinolizidinicos en el grano (2.83%) que debe reducirse antes de su consumo (Briceño *et al.*, 2021).

### 2.3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TARWI

Los granos de tarwi están compuestos por nutrientes, entre ellos: carbohidratos, proteínas, grasas, minerales y fibra; los cuales se observan a detalle en la Tabla 3.

**Tabla 3: Composición química del tarwi (%)**

Componentes	Porcentaje (%)
Humedad (%)	7.7
Proteína (%)	44.3
Ceniza (%)	3.3
Grasa (%)	16.5
Fibra cruda (%)	7.1
Carbohidratos (%)	28.2

FUENTE: Huayna (2016)

La proteína del tarwi está compuesta principalmente por globulina, seguida por la albúmina, sin embargo, el contenido de triptófano es bajo. Por otro lado, contiene una excelente cantidad de aminoácidos azufrados como lisina y cisteína, siendo mayor respecto a otras leguminosas (Tapia, 2015).

Las semillas de tarwi son buenas fuentes de tocoferoles totales, los cuales se encuentran en niveles superiores de 294.6 mg por Kg luego del proceso de desamargado; mientras que el contenido de carotenoides totales es de 1.68 mg por Kg (Briceño *et al.*, 2021).

En la Tabla 4, se presentan los ácidos grasos que predominan en el tarwi, donde destacan principalmente el ácido oleico ( $\Omega$  9), linoleico ( $\Omega$  6), linolénico ( $\Omega$  3), palmítico, palmitoleico y esteárico.

**Tabla 4: Composición del contenido de ácidos grasos en el tarwi**

<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
A. oleico ( $\Omega$ 9)	40.4
A. linoleico ( $\Omega$ 6)	37.1
A. linolénico ( $\Omega$ 3)	2.9
A. palmítico	13.4
A. palmitoleico	0.2
A. esteárico	5.7
A. araquídico	0.2
A. behénico	0.2
Cociente (Poliinsaturados/saturados)	2

FUENTE: Mujica y Jacobsen (2006).

La calidad del aceite que se obtiene del tarwi es similar al de maní y soja, por su composición de ácidos grasos, siendo el principal compuesto, el ácido oleico seguido por el ácido linoleico (Tabla 4), este último un ácido graso esencial, la diferencia entre la variedad amarga, *Lupinus mutabilis*, con el *Lupino albus*, es su mayor composición de ácido oleico y menor de linoléico (Edel y Rosell, 2007). Por otro lado, el tarwi (*L. mutabilis*) contiene un mayor contenido de proteína, lípidos y tocoferoles que sus parientes *L. albus* y *L. angustifolius*, que lo hace ventajoso para su uso como ingredientes funcionales o productos ricos en proteínas y grasas insaturadas (Briceño *et al.*, 2021).

Al hacer una comparación nutricional entre la quinua y tarwi, el segundo tiene una composición particular; ya que posee grasas (insaturadas) como el oleico, linoleico y linoleico, que son los ácidos que requiere nuestro organismo para un buen desarrollo del sistema nervioso central y para la función inmunológica (Tapia, 2015). Respecto a la cantidad de carbohidratos, la quinua es la que brinda una mayor proporción, lo que podría ser útil para las personas que realizan una elevada actividad física (Carrión, 2019).

## 2.4. OBTENCIÓN DE HARINA DE CULTIVOS ANDINOS

Este proceso tiene una gran importancia debido a que la quinua y el tarwi contienen compuestos antinutricionales y de sabor amargo que deben ser retirados antes de ser consumidos, por ejemplo, los alcaloides del tarwi. Por el lado de las saponinas, que son moléculas orgánicas que al pertenecer al grupo de esteroides o triterpenoides, con una alta solubilidad en agua, soluciones de NaCl, NaOH o etanol, asimismo, contienen compuestos insaponificables presentes en la grasa (sustancias precursoras de saponinas tales como esteroides, escualeno, terpenoides), los ácidos grasos oxidados, sales minerales de magnesio, oxalatos, etc., que pueden ocasionar también sabores indeseables en el grano de la quinua (Edel y Rosell, 2007).

El procedimiento para obtener harina de cultivos andinos como quinua y tarwi, con el fin de utilizarlo en las industrias para diferentes procesos o consumo directo, se detallan por Edel y Rosell (2007) a continuación:

- **Limpieza**

El fin de esta etapa es descartar las impurezas y semillas extrañas y de menor tamaño.

- **Acondicionamiento**

Se realiza de acuerdo al tipo de grano. En ese sentido, la quinua deberá ser previamente desaponificada, mientras que al tarwi se le deberá someter a un desamargado. La primera, referente a las saponinas, consiste en eliminarlas mediante métodos secos, húmedos o combinados vía seca-húmeda; pero generalmente es un remojo por 10 minutos a menos de 50°C. De manera análoga, el tarwi se hidrata por 24 h y es sometido a una cocción por 40 minutos para luego ser lavado y su posterior secado con energía solar.

- **Molienda**

Tiene por objetivo reducir el tamaño de los granos a partículas pequeñas que corresponden a la harina. Esta etapa se realiza con un molino de martillo con zarandas o mallas para obtener harinas.

- **Tamizado**

Esta etapa es opcional, la cual se realiza con el fin de asegurar el tamaño adecuado de las partículas convertidas en harinas.

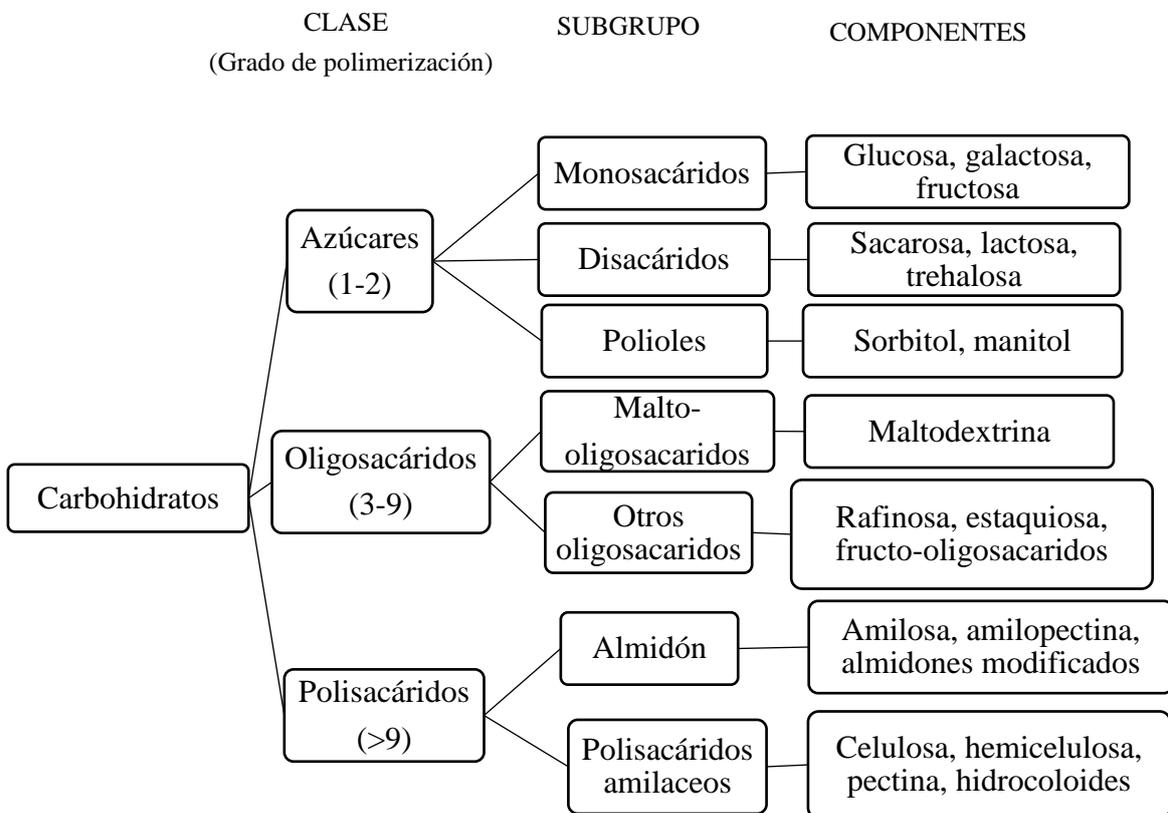
- **Envasado:**

El fin es proteger el producto, evitar su deterioro y mayor tiempo de vida útil.

## 2.5. CARBOHIDRATOS

Los carbohidratos son aquellos compuestos orgánicos más abundantes en la naturaleza, asimismo, son lo más consumido por el ser humano, abarcando el 80% o más de la dieta en varios países. (Badui, 2013). El autor menciona que se encuentra principalmente en el reino vegetal y su origen general es la glucosa proveniente de la fotosíntesis.

Sarmento (2012) clasifica a los carbohidratos según su grado de polimerización, de allí que pueden dividirse en tres grupos principales: azúcares, oligosacáridos y polisacáridos, como se muestra en la Figura 1:



**Figura 1: Clasificación de los carbohidratos**

FUENTE: Sarmento (2012)

### 2.5.1. ALMIDÓN

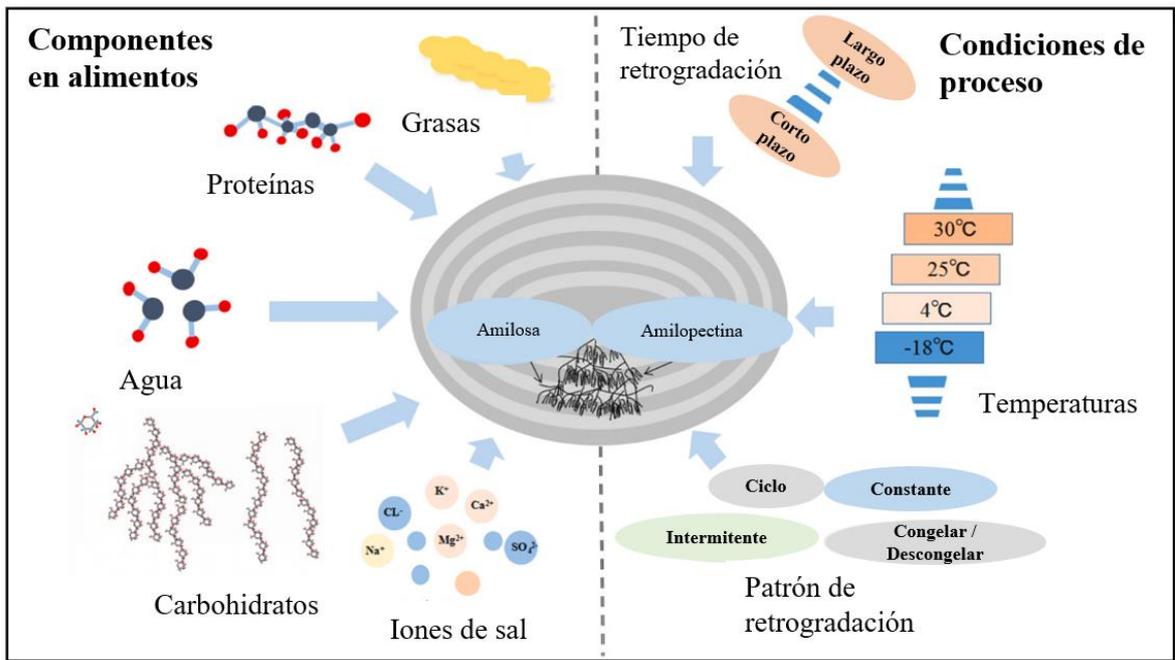
El almidón es el hidrato de carbono más trascendente en todos los cereales ya que representa aproximadamente entre 60 y 70% del total de materia seca (Edel y Rosell, 2007). En especial, los carbohidratos de la harina de trigo son representada por almidón, compuestas por amilosa y amilopectina, cuyo diámetro de sus gránulos son de 10-20um, se debe agregar que, la amilosa es más soluble en agua y posee mayor capacidad de ser hidrolizado que la amilopectina, es decir, presenta una mayor facilidad para romper cadenas y liberar moléculas de glucosa (Sarmiento, 2012). Asimismo, la proporción de amilosa/amilopectina influyen en el volumen final de productos panificados y en su tendencia al endurecimiento (Edel y Rosell, 2007).

Sarmiento (2012) refiere que el almidón se ubica dentro de unos diminutos gránulos que presentan estructura cristalina, estos son insolubles en agua fría, no obstante, al ser sometidos a elevadas temperaturas presentan un incremento de viscosidad, ocasionado por el desarrollo un gel mediante adhesión entre gránulos.

Las características del almidón del trigo difieren con el de los granos andinos (quinua, tarwi, entre otros). Según Navia-coarite *et al.* (2019), el contenido de almidones totales en la quinua variedad blanca reportan cerca de 51%, que destacan por su particularidad de ser altamente estables y resistente a la retrogradación., además, estos almidones tienen la característica de ser muy ramificado y el tamaño de sus gránulos son menores a 2um.

Chang *et al.* (2021) plantea factores externos e internos que influyen en los componentes del almidón (amilosa y amilopectina) durante la gelatinización e indirectamente en la retrogradación del almidón, relacionada con la predicción y control de la calidad del almidón

La Figura 2 muestra los factores influyentes en la retrogradación del almidón, según los componentes en alimentos:



**Figura 2: Factores influyentes en la retrogradación del almidón**

FUENTE: Chang *et al.* (2021)

Según la Figura 2, la retrogradación del almidón, al ser uno de los principales componentes, puede impactar significativamente sobre la calidad de estos alimentos. Esto no solo depende de las propiedades naturales del almidón, sino también de los otros componentes de la matriz alimentaria como: agua, lípidos, proteínas, otros carbohidratos y iones de sal, además de las condiciones de retrogradación. Los factores internos (componentes de la matriz) juegan un papel trascendente en la formación de la estructura organizada del almidón retrogradado, mientras que los factores externos, como condiciones de procesamiento, influyen en la posterior distribución estructural y condiciones que afecten la reorganización del almidón (Chang *et al.*, 2021).

### 2.5.2. OLIGOSACÁRIDOS

Los oligosacáridos presentes en los cultivos andinos provienen principalmente en la composición mayoritaria sobre los carbohidratos del tarwi (*Lupinus mutabilis*), que abarcan cerca de 16% de su composición, representan principalmente: oligosacáridos, estaquiosa, rafinosa, sacarosa, verbascosa, las cuales son carbohidratos no digeribles a excepción de la sacarosa (Navia-coarite *et al.*, 2019).

### **2.5.3. FIBRA ALIMENTARIA**

La composición de la fibra alimentaria, refiere a una mezcla de polímeros de carbohidratos, entre oligosacáridos y polisacáridos, podemos mencionar dentro de este grupo a la celulosa, hemicelulosa, sustancias pécticas, gomas, almidones resistentes, e inulina, entre otros. Desde el punto de vista químico, se clasifican en fibra dietaria soluble, que se refiere a polímeros que presentan una cierta hidrofilia (pectinas y algunas hemicelulosas), y en fibra dietaria insoluble (celulosa y componentes lignocelulósicos) (Sarmiento, 2012).

En el caso de granos andinos, como quinua y tarwi, son determinantes como fuentes de fibra dietaria, particularmente de característica insoluble (Edel y Rosell, 2007). Este componente es importante para mantener la salud intestinal al prevenir el estreñimiento, así como también disminuye la incidencia de la enfermedad de diabetes, obesidad, etc. (Anticon, 2017).

## **2.6. REOLOGÍA DE MASAS**

La reología de masas para pan se usa para determinar la funcionalidad de harinas de trigo, cuyo fin es analizar las propiedades físicas del gluten hidratado, formado después del amasado. Dichas propiedades físicas se analizan a partir de definir a la masa como un material viscoelástico, ya que presenta la plasticidad que combina la elasticidad y viscosidad correspondientes a sólidos y líquidos, respectivamente (Pazmiño, 2013). Asimismo, las propiedades reológicas de la masa son un importante factor en la calidad de los diferentes productos, siendo ensayados en equipos que pueden adaptarse a las formulaciones y condiciones de proceso propias de cada caso, siendo muy útiles para optimizar formulaciones o corroborar los efectos de ciertos aditivos y enzimas (Edel y Rosell, 2007).

### **2.6.1. EQUIPOS PARA ANÁLISIS REOLÓGICOS**

#### **a. Analizador Rápido de Viscosidad (RVA)**

Este equipo permite obtener una curva de *pasting* completa, que incluye *pasting* inicial, viscosidad máxima, descomposición y retroceso, durante el calentamiento en exceso de

agua. Se basa en el cambio en la viscosidad rotativa que ocurre cuando los gránulos de almidón se hidratan, se hinchan y finalmente se desintegran, seguido de posible realineamiento de las moléculas de almidón durante el enfriamiento.

Además de viscosidad de la pasta inherente, el método controla la acción de licuefacción de  $\alpha$ -amilasa, mostradas mediante el perfil de viscoamilograma (Vidaurre-Ruiz *et al.*, 2019). Estas propiedades son primordiales para caracterizar una harina o almidón de un cereal, en el cual predice el comportamiento de la harina durante la cocción (Mínguez, 2012).

Mínguez (2012) detalla los parámetros obtenidos del equipo RVA:

- **Viscosidad de empastado (cp)**

Se refiere a la viscosidad en el punto donde se inicia la gelatinización del almidón o formación de la pasta.

- **Temperatura de empastado (°C):**

Relacionado a la temperatura inicial de empastado. Indica la temperatura mínima necesaria para cocinar un almidón.

- **Viscosidad máxima (cp):**

Es aquel pico de viscosidad que indica la capacidad de retención de agua del almidón, se rompe el almidón.

- **Temperatura del pico (°C):**

Es aquella temperatura a la que se produce el pico de viscosidad.

- **Estabilidad (*Breakdown*) (cp):**

Referente a la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad de caída que se desarrolla en el tramo de temperatura constante, ello es debido a la rotura del almidón y bajada de viscosidad.

- **Viscosidad de caída (*Trough*) (cp):**

La viscosidad de caída es el mínimo valor de viscosidad antes del comienzo de la retrogradación, este se forma al final del transcurso de temperatura constante, en otras palabras, previo a iniciar el enfriamiento.

- **Retrogradación (*Setback*) (cp):**

Es la diferencia entre la viscosidad de final y la de caída.

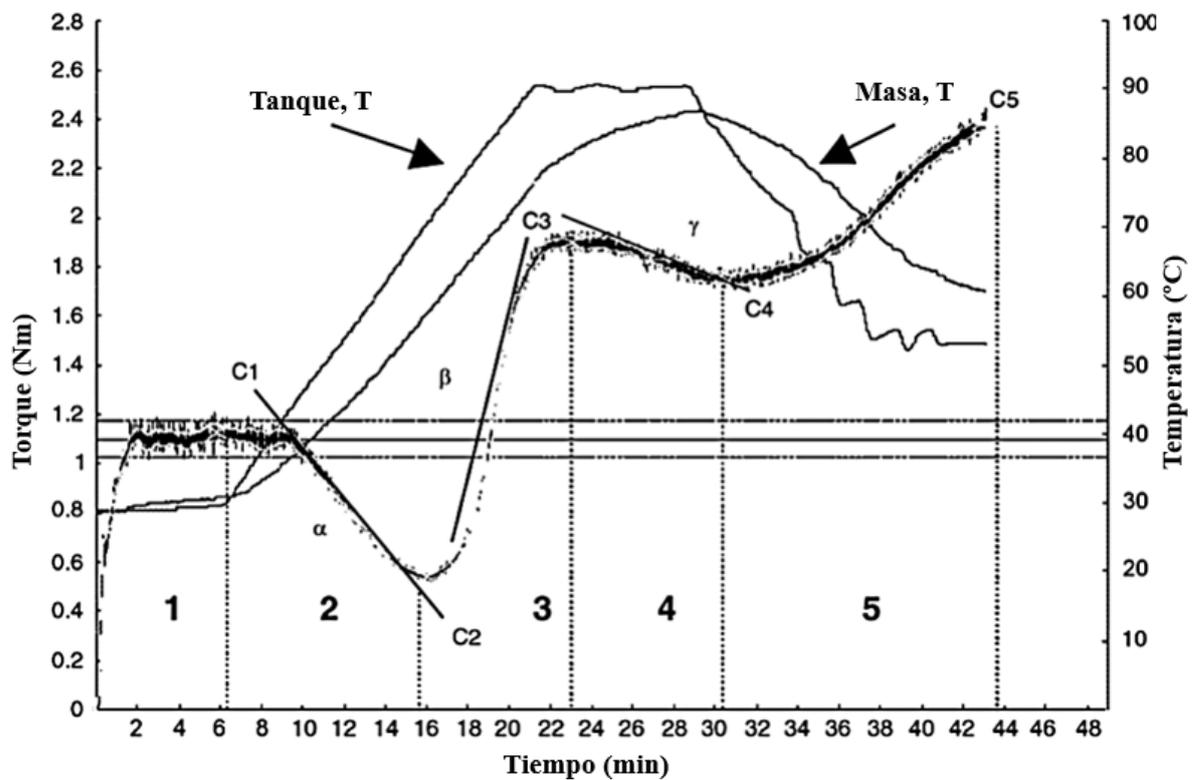
- **Viscosidad final (cp):**

Cuando la pasta se enfría, el almidón se reordena y la consistencia vuelve a aumentar llegando a una viscosidad final.

## **b. Mixolab**

El Mixolab de Chopin evalúa el comportamiento de las masas durante la fase del amasado (Figura 1), además brinda datos importantes como la cantidad de agua absorbida para obtener una consistencia determinada y el tiempo necesario de amasado (Edel y Rosell, 2007). El equipo consiste en registrar los cambios mecánicos durante el calentamiento y enfriamiento de las masas, simulando las condiciones en el proceso de elaboración y posterior horneado del pan; además analiza las propiedades de las proteínas y almidón (Hadnađev *et al.*, 2011).

La Figura 3 detalla la curva reológica obtenida del Mixolab, la cual se divide en cinco etapas (Mezcla, debilitamiento de proteínas, gelatinización del almidón, estabilidad de cocción y enfriamiento):



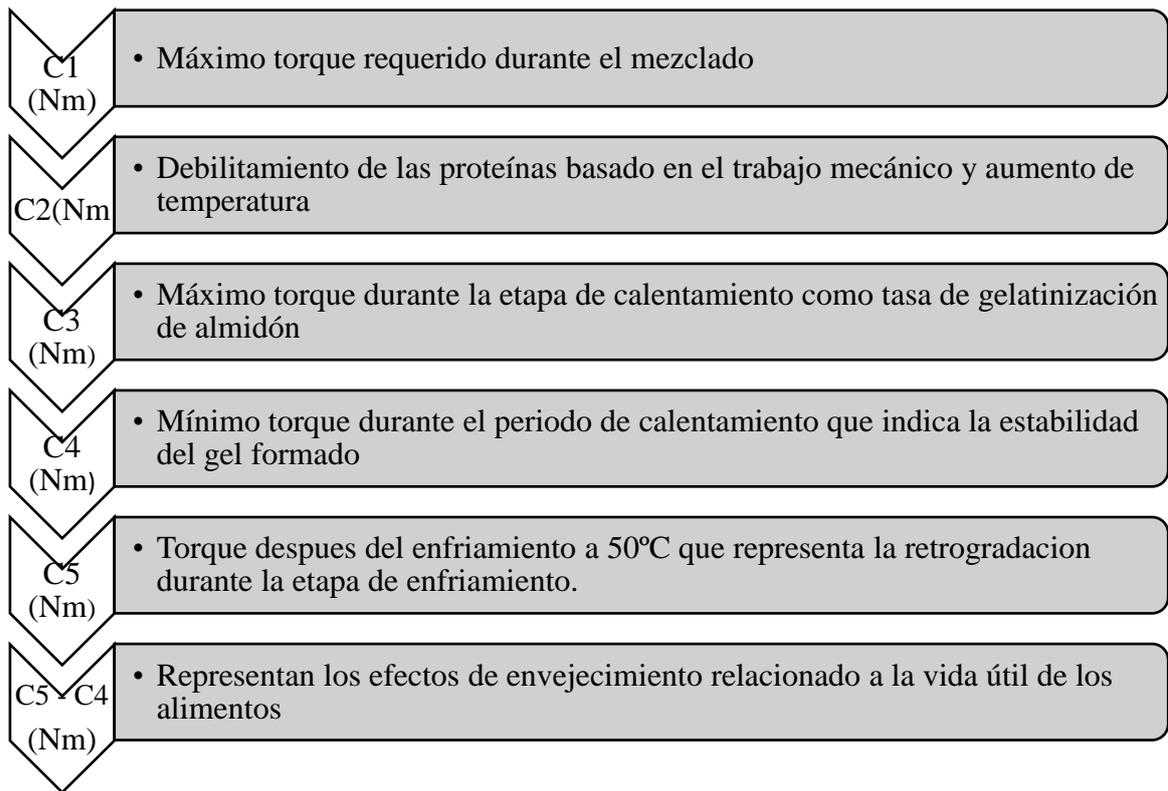
**Figura 3: Curva registrada de Mixolab. 1: Mezcla, 2: Debilitamiento de proteínas, 3: Gelatinización del almidón, 4: Estabilidad de cocción, 5: Enfriamiento**

FUENTE: Dubat *et al.* (2013)

La Figura 3, señala los parámetros reológicos, obtenidos del equipo Mixolab, de los cuales se encuentran la pendiente  $\alpha$ , ubicada en la etapa 2, que representa la velocidad de debilitamiento de proteínas bajo efecto del calor, es decir a un sometimiento a temperatura, como se indica en la curva de temperatura (tanque y masa).

La pendiente  $\beta$ , expresa la velocidad de gelatinización de almidón de la muestra que es generada por un aumento de temperatura, ubicada en la etapa 3. Finalmente, la pendiente  $\gamma$ , durante la fase a temperatura constante (etapa 4), se desarrolla la velocidad de degradación enzimática (Dubat *et al.*, 2013).

Dentro de los parámetros obtenidos (C1, C2, C3, C4 y C5) de la curva anterior, a continuación, se muestra el concepto que se alude para cada parámetro en la Figura 4:



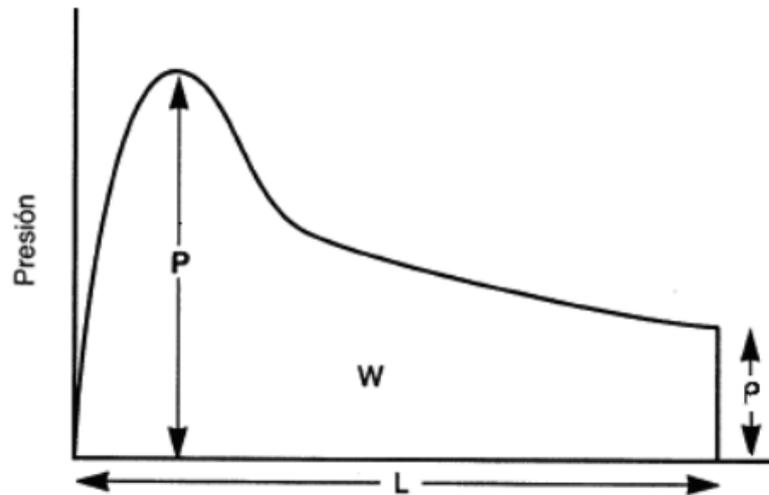
**Figura 4: Parámetros específicos medidos en la curva del Mixolab**

FUENTE: Schmiele *et al.* (2016)

### c. Alveo-consistógrafo

Este equipo mide el comportamiento durante el laminado y formado de la masa, el cual consiste en un inflado de la masa por una presión de aire constante simulando la deformación de la masa (alvéolos) debido al gas formado durante la fermentación; durante ello, la curva o alveograma obtenida registra la presión en el interior de la burbuja (Edel y Rosell, 2007). Los parámetros más utilizados son la tenacidad o altura máxima de la curva (P), la extensibilidad o longitud de la curva (L) y la fuerza panadera correspondiente al área bajo la curva (W), finalmente, un parámetro que suelen usar es la relación entre la tenacidad y extensibilidad (P/L), denominada equilibrio (Edel y Rosell, 2007).

La Figura 5 muestra el alveograma obtenido del equipo denominado alveo-consistógrafo:



**Figura 5: Alveograma**

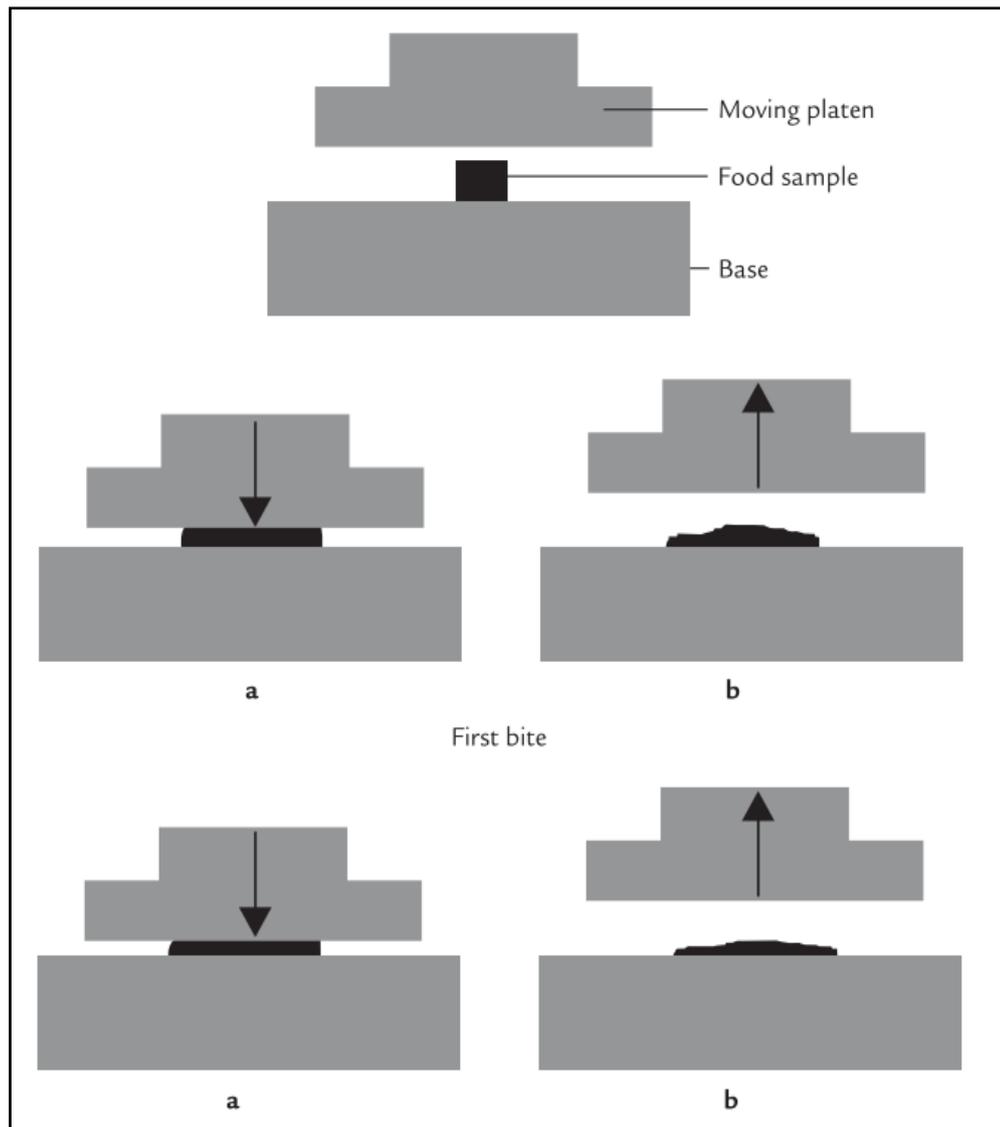
FUENTE: Catterall (1998)

## 2.7. TEXTURA DE LOS ALIMENTOS

### a. Análisis de perfil de textura

El análisis de perfil de textura, conocido como TPA, es una medida de parámetros de los atributos de textura de los alimentos analizados, cuyo equipo es acompañado de un software para su uso en la industria alimentaria y en laboratorios de investigación. Las propiedades mecánicas que se determinan como resistencia, dureza, elasticidad, fragilidad, etc., son propiedades intensivas, es decir, son independientes del tamaño del objeto en análisis (Peleg, 2019).

Según la Figura 6, el principio de la prueba TPA en alimentos, consiste en simular la acción de la mandíbula tomando una muestra del tamaño de un bocado se coloca en una placa base para una compresión y descompresión dos veces bajo un sistema de transmisión que imite la masticación de los dientes (Bourne, 2002).

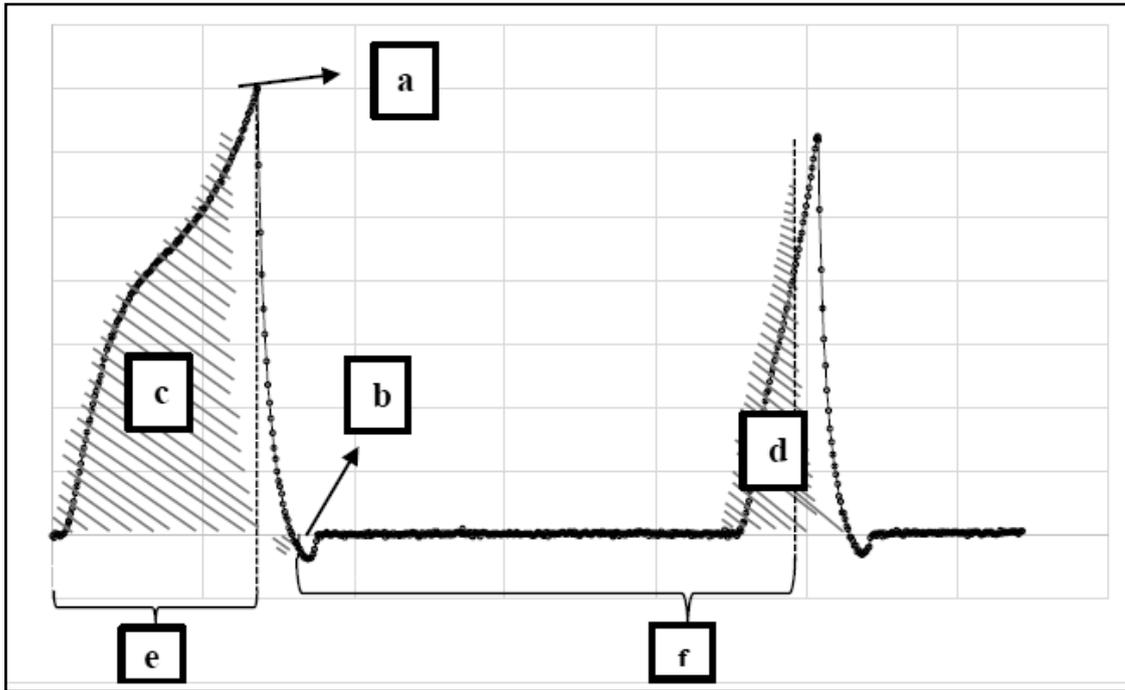


**Figura 6: Principio de compresiones sucesivas requerido para el perfil de textura (a) Acción descendente durante la primera y segunda compresión (b) acción ascendente durante la primera y segunda compresión**

FUENTE: Bourne (2002)

La versión Instron TPA, consiste en colocar una muestra de alimento cilíndrica o cúbica que tiene la facilidad de prepararse y mantenerse sobre una placa inferior de la máquina para luego ser comprimida dos veces con una placa paralela. Esta disposición ha simplificado considerablemente tanto la geometría del ensayo como el procedimiento de preparación de la muestra de alimento, lo que ha contribuido a la popularidad del método en investigación y desarrollo de productos alimenticios (Peleg, 2019).

La Figura 7 se detalla la curva de análisis de perfil de textura (TPA):



**Figura 7: Curva de análisis de perfil de textura. Valores de (a) es la dureza, (b) la adhesividad, (d)/(c) es la cohesividad, (f)/(e) es la elasticidad, (a)x(d)/(c) es la gomosidad y (a)x(d)x(f)/((c)x(e)) es la masticabilidad**

FUENTE: Peña (2020)

Como se observa en la Figura 7, el pico (medidos en fuerza) en el primer ciclo de compresión (primer bocado), este es definido como la dureza. El área de fuerza negativa del primer mordisco (b), denominada adhesividad, es señalada como el trabajo necesario para tirar del embolo compresor lejos de la muestra, mientras que la cohesividad es representada como las áreas positivas de la primera y segunda compresión. La distancia que recupero durante el tiempo transcurrido entre el final del primer pico y el inicio el segundo pico se denominó elasticidad.

Por otro lado, la gomosidad se derivó del producto de la dureza y cohesividad y la masticabilidad; del producto de la gomosidad y la elasticidad. Bourne (2002), define a la masticabilidad como la energía necesaria para masticar un producto alimenticio sólido y a la gomosidad como la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para

la deglución. De acuerdo a Peleg (2019), la masticabilidad es una medida de la energía requerida para masticar un alimento hasta el punto adecuado de poder ingerirlo.

## **2.8. PAN DE MOLDE**

El pan es un alimento básico de consumo masivo, especialmente en los países en desarrollo, y resulta de la cocción de una masa compuesta principalmente de harina, agua, levadura y sal (Mancebo *et al.*, 2017). Por otro lado, el pan es considerado como aquel producto fermentado cuya estructura de miga celular, después del horneado, le confiere una textura particular, siendo cada poro conectado mediante una red de hebras, gluten coagulado, en el que los gránulos de almidón están dispersados y cuando aquella miga es sometida a una presión y luego se retira la fuerza, vuelve a tornar a su forma (Arp *et al.*, 2018).

Según INACAL (2016), la Norma Técnica Peruana a NTP 206.004 señala que el pan de molde es el producto obtenido por la cocción en moldes, de una masa fermentada hecha básicamente con harina de trigo, agua potable, sal, azúcar, levadura y manteca, pudiendo tener otros ingredientes y aditivos permitidos. Deben tener como característica principal la presencia de una miga esponjosa, sin zonas almidonosas, color uniforme, el cual dependerá de las harinas empleadas; y no será pegajosa ni desmenuzable.

### **2.8.1. CLASIFICACIÓN**

Según la Norma Técnica Peruana a NTP 206.004 (INACAL, 2016), según el grado de extracción de la harina utilizada, el pan de molde se clasificará en:

- a. Pan integral:** Es el pan de molde elaborado con harina integral.
- b. Pan blanco:** Es el pan de molde elaborado con harina, con un máximo de 82% de extracción
- c. Pan corriente:** Es el pan de molde elaborado con harina de más de 82% hasta 86% de extracción.
- d. Pan tostado de molde:** Es el producto que como producto anterior tiene el pan de molde y que ha sido tostado (o secado) bajo condiciones controladas.

## 2.8.2. REQUISITOS FISICOQUÍMICOS DEL PAN DE MOLDE

La Norma Técnica Peruana NTP 206.004 (INACAL, 2016), exige ciertos requisitos fisicoquímicos para el pan de molde y estos se observan en la Tabla 5:

**Tabla 5: Requisitos fisicoquímicos del pan de molde (%)**

<b>Requisito fisicoquímico</b>	<b>Valor máximo</b>
Humedad	40%
Acidez	0.5% (base seca)
Cenizas	4% (base seca)

FUENTE: INACAL (2016)

## 2.8.3. INSUMOS PRINCIPALES

### a. Harina de trigo

Según Cauvain (2015), en la panificación se requiere de harina blanca obtenida de la molienda del trigo, esto debido a que es el cereal que contiene dos proteínas principales conocidas como gliadina y glutenina que al unirse en presencia del agua forman la estructura del gluten. El resultado del gluten le confiere a la masa la viscoelasticidad con la capacidad de extenderse a una membrana delgada y continua (Cauvain, 2015).

La influencia de este ingrediente en la elaboración de pan de molde es su capacidad de brindarle la consistencia adecuada desarrollado en la masa al pan debido a las propiedades del gluten que confiere mejor calidad del pan, es decir un volumen deseado, una estructura de miga más fina y una miga más suave (Cauvain, 2015).

## **b. Agua**

El agua, después de la harina, es el ingrediente más importante utilizado en la elaboración del pan; el agua utilizada en panificación es principalmente de tipo alcalina; la cual hidrata la harina facilitando la formación del gluten otorgándole características propias de una masa de pan como cohesión, elasticidad, plasticidad y tenacidad (Mesas y Alegre, 2002).

## **c. Sal**

Es un compuesto químico formado por Cl y Na. Su función principal en panificación es contribuir significativamente al sabor del pan y por otro lado afecta el desarrollo de la estructura del gluten, puesto que le permite a la masa retener mejor el agua y el gas. Las proporciones recomendadas de sal a utilizar son desde 1.5 hasta 3.0 % respecto a la presencia de la harina (Cauvain, 2015). Dubat *et al.* (2013) detalla que además de contribuir en el sabor del pan, la sal inhibe la actividad de las levaduras, ello es utilizado para controlar la microflora de la masa; también le brinda fuerza y reforzamiento a la red del gluten.

## **d. Azúcar**

Es un compuesto químico formado por C, H, O. En panificación se utiliza la sacarosa o azúcar de caña. Durante el proceso de elaboración de pan, sirve de sustrato para la levadura. Contribuye a una rápida formación de la corteza del pan y a su coloración debido al proceso de caramelización, permitiendo que la temperatura del horno no ingrese directamente dentro del pan y que sea posible su cocción. Asimismo, genera un impacto en la dulzura del producto y su presencia reduce la actividad de agua, lo que puede tener un efecto sobre la extensión de la vida útil del producto horneado (Cauvain, 2015).

## **e. Leche**

La leche se puede agregar al pan, generalmente se utiliza la leche en polvo debido a su fácil almacenamiento, sin refrigeración; el disacárido presente en la leche en polvo es la lactosa, la cual hace posible la coloración de la corteza debido a su caramelización, en algunos casos,

confiere un color amarillento a la miga, pero principalmente aportan enriquecimiento, así como también brinda un mejor sabor (Cauvain, 2015).

#### **f. Grasas**

Las grasas pueden describirse como agentes enriquecedores en panes debido a que cambian las características alimenticias del pan otorgándole una miga más blanda y al mismo tiempo una modesta mejora de la vida útil del producto (Cauvain, 2015).

Según su origen, las grasas se dividen en:

- Manteca o grasa de cerdo: brinda un buen sabor al pan.
- Mantequilla: es la grasa separada de la leche por medio del batido.
- Aceites vegetales: se obtienen sometiendo las semillas a un proceso de prensado (girasol, maní, ajonjolí, etc.).

Por otro lado, Dubat *et al.* (2013) menciona que las grasas utilizadas en panes son con el fin de impartir ternura al producto horneado, este efecto ablandador se debe a la facultad de la grasa de lubricar la estructura del producto horneado cuando es dispersado en películas y globulos de masa.

#### **g. Levadura**

El tipo de levadura utilizado en panificación es *Saccharomyces cerevisiae*. Su función principal en el proceso de elaboración de pan es hacer posible la fermentación. La temperatura adecuada para su funcionamiento es de 30°C y pH adecuado entre 4.5 – 6 (Cauvain, 2015).

Según Rodríguez y Lom (2006), la levadura presenta enzimas que le confieren el principio activo para metabolizarse. Tal es el caso de:

- Invertasa: Transforma azúcar de caña en levulosa y dextrosa.
- Maltasa: Transforma maltosa en dextrosa.
- Zimasa: Transforma azúcar simple en gas y alcohol

- Proteasa: al actuar en proteínas fomenta la extracción de compuestos nitrogenados requeridos por la levadura, para suavizar el gluten acondicionándolo.

#### **2.8.4. MÉTODOS DE ELABORACIÓN DE PAN DE MOLDE**

Según Mesas y Alegre (2002), los principales sistemas de elaboración de pan de molde son:

##### **a. Método de masa directa**

Se refiere a un proceso en el cual solo se realiza un paso, se mezclan todos los ingredientes a excepción de la levadura que se añade a poco de terminar el amasado. La principal ventaja de este método es que, al tener menos contacto en cuanto a manipulación, disminuye considerablemente los márgenes de error, además del ahorro de tiempo y por ende la mano de obra (Mesas y Alegre, 2002).

##### **b. Método de esponja**

Este método consiste en elaborar primero la masa madre o esponja, que consiste en la mezcla de los insumos básicos como harina (30 - 40%), agua, sal y levadura. Se deja fermentar durante varios días, luego se adiciona el agua y harina restantes y se continúa el proceso de panificación como en el método de masa directa, pudiendo corregir fallos en el segundo amasado (Mesas y Alegre, 2002).

#### **2.8.5. PRINCIPALES ETAPAS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PAN**

Las principales etapas del proceso de elaboración de pan de molde son las siguientes:

##### **a. Mezclado y amasado**

Se realiza con el fin de mezclar uniformemente los ingredientes y lograr la formación óptima del gluten, a partir de la gliadina, glutenina y agua presente. El mezclado mecánico se realiza en un recipiente cerrado donde se adicionan los ingredientes, el bol, a través del cual una o

varias paletas de mezclado pasan por un movimiento definido. Existen muchas variantes en el diseño de cuencos y paletas de mezclado, pero todas están configuradas para conseguir un objetivo, la dispersión (Cauvain y Young, 2006).

La relevancia de transferir energía a la masa durante la elaboración del pan es tal que podría considerarse como un insumo en sí mismo. En otras palabras, cuanto mayor sea la energía transferida a la masa durante el mezclado, mayor será la mejora de la retención, y, por tanto, mayor el volumen del pan. No obstante, existe situaciones en el que un punto donde no se transfiere energía por lo que no confiere retención de gas extra y en último caso, la masa puede ser descrita como “sobre mezclada” (Cauvain y Young, 2006).

Esta etapa es la más crucial, debido a que la masa incorpora aire bajo minúsculas burbujas que desarrollaran el alveolado final del pan, la acción inicial de esta etapa se presenta cuando las amilasas se activan y empiezan a actuar sobre el almidón dañado. En consecuencia, se crean azúcares fermentables (mono y disacáridos) y en conjunto con los azúcares presentes en la masa, conforman el sustrato para la acción de las levaduras. Las levaduras transformarán dichos azúcares en alcohol, óxido carbónico y otros compuestos menores que influirán en el aroma final del pan. En un primer instante el CO<sub>2</sub> conformado permanece en solución acuosa, empero mientras el agua se satura el CO<sub>2</sub> pasa al interior de las burbujas de aire que se desarrollaron en el amasado. En resumen, este proceso causa que la masa se expanda y mejora las propiedades físicas, facilitando el laminado y la formación de las piezas (Edel y Rosell, 2007).

## **b. Fermentado**

Edel y Rosell (2007) recomienda que, en procesos de panificación, se debe hacer realizar una fermentación inicial (en masa o en bola), antes del formado definitivo de las piezas, y una más larga, después de tener la pieza ya formada (molde). La primera consiste en facilitar el manejo, formación o mecanización que influirá en la calidad del pan producido, mientras que la segunda tiene el único fin de incrementar el tamaño de los moldes para conseguir un pan esponjoso. Según Rosentrater y Ever (2018), el almidón de la harina se descompone en

el disacárido maltosa por las enzimas amilasas; la maltosa luego se divide en glucosa (dextrosa) por maltasa; la glucosa y la fructosa se fermentan en dióxido de carbono y alcohol por el complejo zymase.

Rosentrater y Evers, (2018) menciona que, en esta etapa, se debe producir gas suficiente para lograr un inflado de la miga adecuado; la producción de gas depende de la cantidad de azúcares solubles en la harina y su poder diastático; asimismo, la retención de estos gases es proveniente de la proteína de la harina, particularmente el gluten, que debe ser lo suficientemente extensible para permitir que se eleve, pero fuerte para evitar que el gas se escape con demasiada facilidad. Edel y Rosell (2007) recalcan, la importancia del proceso de fermentación y su desarrollo en un tiempo óptimo debido a que un exceso perjudicaría a la red de gluten ocasionando su ruptura por un exceso de CO<sub>2</sub> producido. Entre los principales objetivos de esta etapa se tiene:

- Aumentar, dos o tres veces el volumen de las masas
- Lograr una textura fina y ligera
- Desarrollar aromas que otorguen características propias a los panes.

Esta etapa requiere una temperatura adecuada según el proceso aplicado, pero generalmente para panes de molde la temperatura debe estar en el rango de 27-33°C, cabe resaltar que debe estar presente una humedad adecuada alrededor de 75-90 % de humedad relativa, para evitar el secado de las masas, que se traducirían en cortezas con una presentación menos brillante ni homogéneo (Edel y Rosell, 2007).

### **c. Horneado**

Como acción inicial, Edel y Rosell (2007) aluden un incremento de volumen, causados por distintos factores: en primer lugar, los gases ocluidos en el interior de los moldes de masas, se extienden durante la elevación de temperatura. En segundo lugar, el agua y etanol presentes se evaporan, transfiriéndose a los alveolos mejorando la expansión, y para finalizar; las levaduras que se mantienen activas hasta que la masa no alcance los 60°C, seguirán produciendo una cantidad relevante de CO<sub>2</sub> siempre y cuando existan azúcares fermentables.

Durante la cocción de la masa se producen principalmente reacciones de Maillard, que proporcionan color, dado que se forman melanoidinas. Sin embargo, se ha descrito que estos compuestos influyen tanto en el sabor como en el aroma. Este conjunto de reacciones comienza con la condensación de azúcares reductores y aminoácidos, tanto libres como polimerizados en forma de proteínas, a este fenómeno también se le atribuyen reacciones de caramelización de los azúcares que se forman a temperaturas elevadas (Edel y Rosell, 2007). De manera general, una amina primaria reacciona con un grupo carbonilo, lo que forma un compuesto inestable (Base de Schiff) que posteriormente genera un producto de Amadori. Estos compuestos pueden seguir reaccionando formando compuestos de mayor complejidad, pero también se degradan formando azúcares anhidros, furfurales, reductonas y melanoidinas, los cuales son pigmentos responsables del color tostado de los panes (Lupano, 2013).

Tras la cocción, las partes tienen que enfriarse para lograr envasarlas sin el riesgo de que aparezcan condensaciones que perjudiquen el desarrollo de microorganismos. A lo largo del enfriamiento la amilosa retrograda y acaba de formarse y estabilizarse la miga, lo cual posibilita cortar las partes correctamente, ya que la miga de los panes de molde recién horneadas es bastante gomosa y pegajosa y no se puede rebanar limpiamente (Edel y Rosell, 2007).

## **2.9. CALIDAD DEL PAN**

La calidad estructural del pan proviene de su matriz de gluten-almidón y en la sustitución del trigo, la harina con otros ingredientes podría dar como resultado propiedades tecnológicas deficientes. En consecuencia, diversas investigaciones tienen interés en predecir la calidad del pan a través de evaluaciones de las propiedades de la masa (Al-Sheraji *et al.*, 2013).

Desde el punto de vista microestructural en la masa, estudios realizados por Bigne *et al.* (2015) verificaron que un desarrollo óptimo de masas sustituidas para panificados conduce a una red de gluten adecuada, con ello evaluaron la cohesividad, adhesividad, comportamiento reológico que lograron causar un efecto negativo a medida que aumenta la sustitución. En otras palabras, sustituir harinas distintas al trigo implica un desafío tecnológico para obtener productos aceptables a partir de una buena hidratación y formación de la masa, lo cual afecta directamente, el volumen del pan y calidad de la miga (Bigne *et al.*, 2015).

Las características internas del pan están limitadas normalmente al tamaño, número y distribución de los alveolos en la miga. La miga variará de acuerdo a la variedad de pan, cada alveolo está rodeado por una red de hebras conectadas entre sí (Cauvain, 2015).

El consumidor requiere cualidades importantes en el pan, como el sabor y la textura que son desarrollados durante el horneado, cuando ocurren las reacciones por calor, como las reacciones de Maillard y caramelización; asimismo, las reacciones enzimáticas y fermentación influyen sobre el sabor de la miga del pan (Bigne *et al.*, 2015 y Wang *et al.* 2015). La textura de la miga de pan es importante debido a las propiedades mecánicas de la misma, como la firmeza y elasticidad, ligados con parámetros de palatabilidad y masticabilidad que son determinados mediante la adaptación de métodos físicos de análisis (García, 2011).

## **2.10. UTILIZACIÓN DE HARINAS SUCEDÁNEAS EN PANIFICACIÓN PARA LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO**

El pan producido a nivel mundial es básicamente de trigo, ya que presentan una apariencia ligera junto a un sabor agradable y tradicional de un pan común, a diferencia de los panes elaborados con otros cereales, que presentan una mayor densidad y masa más pesada para la formación de la miga; sin embargo, dependiendo de la fuerza de la harina de trigo (fuerte o débil), se sustituirá un mayor o menor porcentaje de harina de otro cereal (Lascano, 2010).

En este sentido, se ha investigado para la fabricación de panes a base de trigo, se reemplace hasta un 20% de harina de trigo por quinua o amaranto (Arone, 2015), con la finalidad de mejorar la calidad nutricional del pan.

Respecto al tarwi, se recomienda que el porcentaje de sustitución debe ser de un 15 % de harina de tarwi en la panificación ya que se obtienen panes con excelentes resultados por el contenido en grasas de esta leguminosa (Mujica y Jacobsen, 2006). Por otro lado, Edel y Rosell (2007) afirman que utilizar leguminosas en productos panificados enriquecen la calidad nutricional y organoléptica de estos, especialmente en sectores de la población con deficiencias nutricionales, asimismo los problemas principales del país que aun aquejan, son la anemia, malnutrición y sobrepeso. Además, los autores mencionan que la harina de lupino (*Lupinus albus*) es la que tiene mayor potencial para la elaboración de panes en relación a

otras leguminosas existentes (garbanzo, haba, lentejas, etc.), ya que funciona posee importantes propiedades tecno-funcionales durante el amasado (tiempo, capacidad de absorción de agua, etc.) afecta positivamente la obtención de productos y su sustitución debería hacerse entre 5 - 10 %, pues comparten una textura, sabor y color apetecibles para el consumidor.

## 2.11. DISEÑO DE MEZCLAS

El objetivo de este diseño es evaluar ingredientes diferentes y combinados a partir de una serie de formulaciones bajo una mezcla experimental, además este diseño permite la modificación de los diferentes componentes existentes y analiza el efecto o posibles cambios que afecten las propiedades del pan (Dejaegher y Heyden, 2011).

Gutierrez y De la Vara (2008) manifestaron los principales objetivos de un diseño de mezclas:

- Determinar a los componentes de la mezcla o interacciones entre ellos que tienen mayor influencia sobre una o varias respuestas deseados.
- Modelar las respuestas de interés en función de las proporciones de los componentes de la mezcla.
- Utilizar dichos modelos para determinar los porcentajes en los que debe agregarse cada uno de los componentes para que la fórmula resulte con las propiedades deseadas.

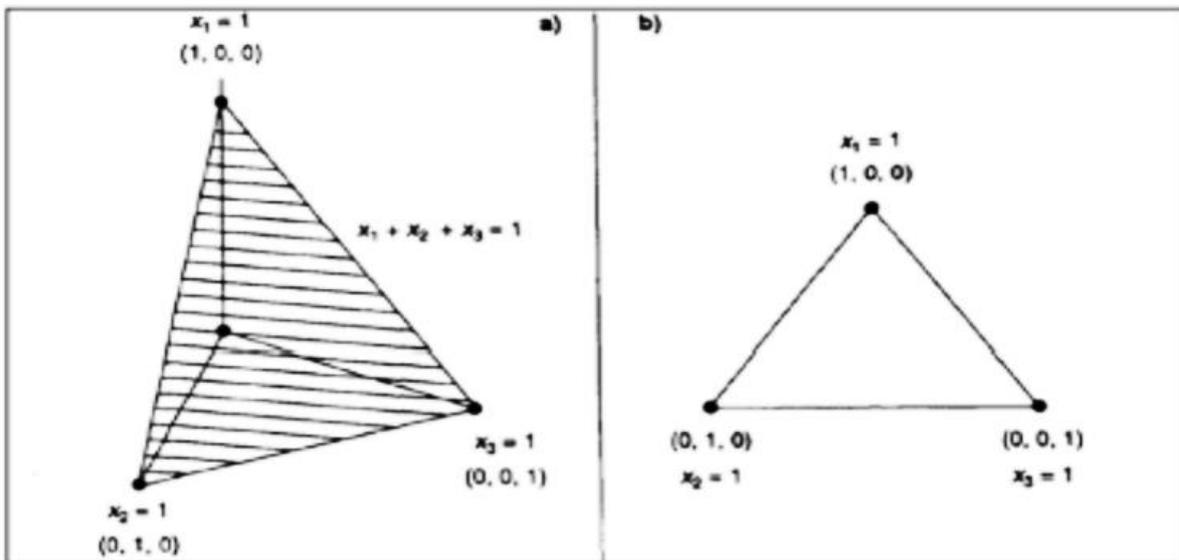
Los componentes generalmente evaluados en productos panificados son investigados en recientes estudios con el fin de una determinación de cantidades adecuadas de: harinas, hidrocoloideos, enzimas, fortificaciones, entre otros. Encina *et al.* (2019), Erben y Osella (2017) y Monthe *et al.* (2019) analizan variables respuestas como: volumen específico, valor nutricional, aspectos sensoriales, textura, etc.

Según Montgomery (2002), en el diseño por mezcla, los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla, y por ende no hay independencia en sus niveles. Por ejemplo, si  $X_1, X_2, \dots, X_p$  expresa las proporciones de  $p$  componentes de una mezcla, entonces:

$$0 \leq X_i \leq 1 \quad i= 1, 2, \dots, p$$

$$X_1 + X_2 + \dots + X_P = 1 \text{ (es decir, 100\%)}$$

Por lo que se la proporción de un ingrediente  $x_i = 1$ , entonces no existen otros ingredientes dentro de la mezcla, y por ende el producto es una mezcla pura o de un componente. En el caso de una mezcla de tres componentes sus valores coordenados para su diseño pueden ser ubicados en un plano definido por  $X_1 + X_2 + X_3 = 1$  (Ver Figura 8a), y la descripción geométrica del espacio de sus factores para  $K$  componentes es de un Simplex en  $(k-1)$  dimensiones (ver Figura 8b) presentando el sistema Simplex de dos dimensiones para una mezcla de tres componentes como un triángulo equilátero (Kuehl, 2001).



**Figura 8: Espacio de los factores para a) una mezcla de tres componentes, b) un sistema Simplex de tres componentes**

FUENTE: Kuehl (2001).

La optimización simultánea es aquella combinación de los factores de control donde todas las respuestas de interés toman valores deseables, para ello se determina la función de deseabilidad, que transforma los valores predichos por el modelo a una escala de 0 a 1, verificando el grado de deseabilidad que poseen (Gutierrez y De la Vara, 2008).

## **III. METODOLOGÍA**

### **3.1. LUGAR DE ESTUDIO**

El presente trabajo se realizó en los laboratorios de Centro de Investigación e Innovación en Granos Andinos (CIINCA) ubicado en las instalaciones del Instituto de desarrollo Agroindustrial (INDDA), asimismo, el Laboratorio de Análisis Físicoquímico de Alimentos y Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.

### **3.2. MATERIAS PRIMAS E INSUMOS**

#### **3.2.1. MATERIAS PRIMAS**

- Harina de trigo panadera, Nicolini Premiun ®
- Harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad Blanca de Junín - marca Villa Andina ®
- Harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) variedad Altagracia – marca Tarwi Corp®

#### **3.2.2. INSUMOS**

- Agua de mesa, San Luis ®
- Azúcar blanca, Dulfina®
- Aceite girasol, Del Campo ®
- Levadura seca instantánea, Levapan®
- Sal yodada, Emsal®.

### **3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y PROGRAMAS**

#### **3.3.1. MATERIALES**

- Vasos de precipitado 50, 250 mL
- Papel aluminio
- Bolsas Ziploc
- Colador
- Moldes de aluminio de pan

#### **3.3.2. EQUIPOS**

- Balanza analítica (OHAUS, PA224. USA)
- Balanza de precisión (OHAUS, TRAVELER TA3001. USA)
- Balanza de humedad (OHAUS, MB45. USA)
- Potenciómetro (HANNA, MODELO HI 8424, Alemania)
- Horno eléctrico (ELECTROLUX, EOCC24. Suecia)
- Cámara de fermentación (FRAVILL, IB4100. Alemania).
- Colorímetro (KONICA MINOLTA, CR-410. Japón)
- Equipo medidor de volumen (PERTEN, BVM -6610, Suecia)
- Equipo analizador rápido de viscosidad (PERTEN, RVA4500, Suecia)
- Texturómetro (INSTRON, 3365, USA)
- Equipo medidor de actividad de agua (AQUALAB, SERIES 3TE, España)
- Escáner (HP, V370, Japón)
- Rebanadora de alimentos (FINEZZA, FZ-106RA. Perú)
- Batidora industrial (FINEZZA, FZ-6822B. Perú)
- Equipo Mixolab 2 (CHOPIN 584, Francia)

#### **3.3.3. PROGRAMAS**

- *Software Image J* (MD, v.1.5j8, USA)
- *Software Design Expert* (MN, v.9.0.6.2, USA)

- *Software Bluehill* (v.3, USA)
- *Software Statgraphics Centurion* (MN, v.19, USA)

### **3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS**

#### **3.4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS Y MEZCLAS**

Con la finalidad de evaluar las características de las harinas se procedió al análisis proximal de las harinas y perfil viscoamilográfico de las mezclas de harinas utilizadas de las formulaciones como se detalla a continuación:

##### **a. Análisis proximal de harinas**

Se analizaron las harinas de trigo, quinua y tarwi, el contenido de humedad, proteína, grasa (extracto etéreo), carbohidratos (extracto libre de nitrógeno), fibra cruda y cenizas, por los métodos recomendados por la AOAC (2016) y siguiendo los métodos descritos por Melgar *et al.* (2017), los cuales son detallados a continuación:

- **Humedad:**

El contenido de humedad se determinó por diferencia de peso en 2 g de harina exactamente medidos antes y después de calentar en estufa a 130°C a presión atmosférica normal, durante 2 horas. Los resultados se expresaron como porcentaje de agua perdida (Método 44-19, AACC Internacional, 2000).

- **Proteína:**

El contenido de nitrógeno de las muestras se determinó por medio del método de micro Kjeldahl modificado para ácido bórico. Se realizó una mineralización de 100 mg de muestra con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 400 °C en un bloque de digestión. El amonio resultante se destiló sobre ácido bórico y se tituló con HCl. El porcentaje de proteína bruta se calculó como N x 6,25 (Método 46-13, AACC Internacional, 2000).

- **Fibra dietaria:**

La fibra dietaria soluble e insoluble fue determinada utilizando el método gravimétrico-enzimático de acuerdo al método oficial AOAC 991.43 (1995).

- **Cenizas:**

Es la cantidad de materia incombustible que sobra luego de someterla a calcinación en un equipo llamado mufla. El contenido de cenizas se determinó por diferencia de peso en 2 g de harina exactamente medidos, antes y después de calentar en mufla a 600 °C hasta peso constante (Método 08-03, AACC Internacional, 2000).

**b. Grasa total (extracto etéreo)**

La grasa se extrajo de la muestra seca con la ayuda de solventes orgánicos, para lo cual se utilizó el equipo de extracción Soxhlet tal como se indica en el método 948.22 AOAC (1998). El resultado se reportó como el peso en porcentaje que representa el extracto etéreo del total de la muestra analizada.

**c. Perfil viscoamilográfico de las mezclas de harinas**

El objetivo de este análisis es desarrollar la curva de empastado de las harinas y mezclas de harinas utilizadas de cada formulación, el cual se analizó con el *Rapid Visco Analyser* (RVA) según el método AACC 76-21.01 (1999), las muestras de 3.5g (14% humedad) se dispersará en 25mL de agua destilada aproximadamente, hasta alcanzar el peso total de 30 g. Los análisis se realizaron por duplicado.

De acuerdo a Saunders *et al.* (2011), durante el desarrollo de las curvas se puede distinguir tres periodos: (1) Un primer periodo denominado de calentamiento controlado (incremento de temperatura desde 30 a 95 °C), (2) seguido de un periodo de calentamiento isotérmico y finalmente (3) el enfriamiento (desde 90 hasta 50 °C). Entre las propiedades de pasta se determina la viscosidad inicial (cP – viscosidad máxima posterior al calentamiento),

*Breakdown* (cP - estabilidad), Trough (cP – viscosidad mínima) y viscosidad final (Vidaurre-Ruiz *et al.* (2019) y Mínguez (2012)).

#### **d. Análisis reológico de las mezclas de harinas**

El análisis reológico de las mezclas de harinas se realizó mediante el equipo Mixolab, el cual permite caracterizar el comportamiento reológico de una masa formada y sometida a un calentamiento de 90°C, seguido de un enfriamiento, midiendo en tiempo real, el torque producido por el paso de la masa a través de dos brazos amasadores como manifiesta Rosell y Concepción (2007) estos análisis fueron realizados siguiendo la metodología AACC 54-60-01.

En total, se evaluaron 11 formulaciones con variaciones de harina de trigo (HT), harina de quinua (HQ) y harina de tarwi (HW), las cuales se pesaron de acuerdo a su contenido de humedad previamente medidas, donde el equipo hidrató dichas muestras hasta alcanzar un torque de 1.1 Nm.

Los parámetros obtenidos, por medio de la curva del Mixolab estándar, fueron: absorción de agua para el desarrollo de la masa (%), estabilidad de la masa (min), C1 (Nm) o consistencia máxima inicial, C2 (Nm) o calidad de la proteína, C3 (Nm) o gelatinización del almidón, C4 (Nm) o actividad de la amilasa y C5 (Nm) o retrogradación del almidón.

Por otro lado, se calculó un parámetro derivado de los principales anteriormente mencionados, denominado *Setback* (Nm), que consiste en la diferencia entre el valor del torque producido después del enfriamiento a 50°C y el valor posterior al periodo de calentamiento a 90°C (C5 – C4), el cual está relacionado a la vida útil del producto final (Rosell y Concepcion, 2007).

La Tabla 6 detalla el Protocolo Chopin utilizado en el Mixolab:

**Tabla 6: Configuraciones instrumentales definidas en el Mixolab según Protocolo Chopin +**

<b>Configuración</b>	<b>Protocolo Chopin +</b>
Hidratación	60%
Base	14%
Torque objetivo	1.1 Nm
Peso de masa	75g
Temperatura de deposito	30°C
Temperatura de calentamiento	90°C
Temperatura de enfriamiento	50°C
Velocidad de amasado	80rpm
Tiempo total de análisis	45 min

FUENTE: Dubat *et al.* (2013)

### **3.4.2. ANÁLISIS A LAS MASAS**

Se usó 500g de masa obtenidos en la batidora FINEZZA, después del proceso de mezcla de harinas, ingredientes secos (a excepción de la levadura), hidratación necesaria y el tiempo de amasado según lo establecido por el *Mixolab*. Para evitar la deshidratación, la masa se protegió con una bolsa de plástico y se reposó por diez minutos, para luego ser analizadas según el método descrito a continuación:

#### **a. Análisis de perfil de textura (TPA) a las masas**

Los 500g de masa fueron divididos en trozos cilíndricos homogéneos (30mm de diámetro y 10mm de altura). Las mediciones de TPA se realizaron con el texturómetro INSTRON. Se introdujo los discos de masa y se ejecutaron dos ciclos de compresión hasta un 50% de la altura original con una sonda cilíndrica de 50mm de diámetro, se analizaron tres repeticiones

de cada lote de masa donde se obtuvo los siguientes parámetros: dureza (fuerza máxima en el primer ciclo), adhesividad (trabajo necesario para despegar el plato de compresión de la muestra), cohesividad (relación entre el área del segundo ciclo y el área del primer ciclo) y elasticidad (relación entre la distancia correspondiente a la altura del producto en el segundo ciclo y la distancia de compresión original) (Bigne *et al.*, 2015).

### 3.4.3. ANÁLISIS AL PAN CON SUSTITUCIÓN

Los análisis que se realizaron al pan con sustitución son los siguientes:

#### a. Determinación de volumen específico

El volumen específico de los panes se midió utilizando el equipo medidor de volumen Perten el cual está provisto de un escáner topográfico, con el cual se pueden alcanzar precisión en los resultados del volumen específico del pan, el cual se calculó mediante la división del volumen (ml) obtenido del equipo y el peso del pan (g) (Peña, 2020).

#### b. Pérdida por cocción

La pérdida de horneado se calculó como se describe en la ecuación a continuación (Turkut *et al.*, 2016):

$$\text{Pérdida de peso} = \frac{\text{Peso de la masa antes de hornear} - \text{Peso pan enfriado}}{\text{Peso masa antes de hornear}} \times 100 \%$$

De esta manera, la pérdida de peso del producto, se calculó mediante la diferencia de pesos de la masa antes y después del horneado y posterior enfriado del pan, expresados en porcentaje.

#### c. Determinación de pH

La determinación de pH de la miga se realizó a partir de la metodología AACC 02-52.01 (AACC, 2000). Se disolvió 10g de miga en 100 ml de agua destilada con la ayuda de un

potenciómetro HANNA previamente calibrado a pH 4.00 y 7.00. Las lecturas se realizaron a 25 °C.

#### **d. Determinación de humedad**

La determinación de humedad de los panes se determinó de acuerdo a Arp *et al.* (2018), según el método A.O.A.C. 950.46, en el cual se colocó una muestra de miga y se secó a 105°C.

#### **e. Determinación de actividad de agua**

La actividad del agua ( $a_w$ ) de la miga de pan se midió a 20°C utilizando el equipo medidor de actividad de agua AQUALAB. Se tomaron medidas de cuatro rebanadas centrales de cada barra (Machado-Alencari *et al.*, 2015).

#### **f. Determinación de color**

Los colores de la corteza y miga del pan se midieron con el colorímetro KONICA MINOLTA y los resultados fueron los promedios de tres medidas de L\* (brillo; 0: negro, 100: blanco), a\* (rojo-verde) y b\* (amarillo-azul) para cada muestra (Zzaman & Yang, 2014).

#### **g. Análisis de perfil de textura (TPA) migas**

La miga se cortó en piezas cilíndricas con una altura de 25mm y 25mm de diámetro del centro del pan, cuyas mediciones se realizaron 18h después del horneado con el empleo de un Texturómetro INSTRON y se siguió el método estándar AACC 74-09 (AACC, 1999).

En el ensayo de perfil de textura las muestras fueron sometidas a dos compresiones sucesivas hasta un 50% de su altura original, período de reposo de 20 segundos entre ambas, con una sonda de compresión (57 mm de diámetro y 8 mm de grosor), a una velocidad de 1mm/s y precarga de 0.0098 N (Rosell *et al.*, 2009) El análisis se hizo por triplicado y se midieron 6 piezas de cada muestra. Las curvas de TPA (Análisis de Perfil de Textura) con ayuda del

*software Bluehill 3* se calcularon los siguientes parámetros: dureza, masticabilidad, cohesividad y elasticidad.

#### **h. Análisis de porosidad**

Se determinó la porosidad de la miga por el método óptico (Serpil & Server, 2006). Este método consiste en la vista microscópica de una sección porosa del alimento con medidas de 2.50 cm × 2.50 cm, mediante un Escáner HP y utilizando el *software Image J* para el análisis las imágenes.

El procedimiento para cada formulación consistió en cortar rebanadas de 12mm de espesor con la rebanadora FINEZZA y se adquirieron 16 imágenes (2 panes x 4 rebanadas x 2 lados de la miga). Se calculó la fracción hueca (*void fraction*), calculada como la proporción del espacio bidimensional ocupado por las células (Serpil y Server, 2006). Este parámetro se eligió debido a que fue el que mejor expresó la estructura original de la miga. Para binarizar cada muestra, se eligió un valor umbral (140) dentro de los grises, de modo que los niveles de grises inferiores al umbral se convirtieron en negro y los mayores en blanco. De este modo, está imagen binarizada consistió en que los alvéolos se representan en negro y las paredes de los mismos en color blanco. Antes de proceder al análisis de las muestras se realizó una calibración utilizando una imagen de una regla, de este modo una distancia de 1 cm correspondió a 138 píxeles. El valor de *void fraction* se expresó en porcentaje (%).

#### **i. Composición proximal**

Se realizó un análisis proximal al producto terminado de la formulación optimizada con mejores características de volumen, dureza, proteínas del pan y *setback*. Sobre esta muestra optimizada se analizó el contenido de humedad, proteína, grasa (extracto etéreo), carbohidratos (extracto libre de nitrógeno), fibra dietaria (soluble e insoluble) y cenizas, por los procedimientos recomendados (AOAC, 2016), siguiendo métodos descritos por Melgar *et al.* (2017).

### 3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología experimental permitió la elaboración de diferentes panes de molde teniendo como ingrediente principal a las mezclas de harinas de trigo, quinua y tarwi, asimismo se añadió los ingredientes básicos en panificados.

#### 3.5.1. ELABORACIÓN DE PAN DE MOLDE CON SUSTITUCIÓN

El pan con sustitución se elaboró de acuerdo a las siguientes operaciones utilizando el método directo descrito por García (2011):

##### a. Pesado

Se pesó cada insumo con la ayuda de una balanza de precisión y analítica OHAUS: harina de trigo, harina de quinua, harina de tarwi, agua, sal, azúcar, levadura y aceite. En la Tabla 7, se muestra el contenido de los ingredientes que se utilizaron para la elaboración de pan de molde con sustitución.

**Tabla 7: Formulación de pan de molde sustituido**

<b>Ingredientes</b>	<b>Cantidad agregada (Base harina)</b>
Mezcla de harinas*	100
Agua**	59-63%
Sal	1.5%
Azúcar	3%
Levadura	2.5%
Aceite de girasol	6.0%

\*Mezcla de harinas: Harina de trigo, quinua y tarwi

\*\*El porcentaje de agua obtenido en el equipo Mixolab varió de 59% hasta 63%

FUENTE: Vásquez *et al.* (2017)

La Tabla 7 señala los ingredientes fijos (sal, azúcar, levadura y aceite de girasol) y variables según cada formulación (mezcla de harinas y contenido de agua), cuyas cantidades fueron agregadas en base a la harina total.

El contenido de agua se determinó para cada tipo de formulación, según el parámetro denominado hidratación (%) evaluado por el equipo Mixolab, los cuales variaron desde 59 % hasta 63 %.

**b. Mezclado**

Se disolvieron la levadura y el azúcar en una parte del agua total. En el tazón de la batidora FINEZZA, se mezcló los insumos secos, es decir, la harina de quinua, tarwi, trigo, sal, con el agua y, por último, el aceite. Luego de obtener una mezcla uniforme, se agregó la levadura, azúcar y el agua restante por 1 minuto.

**c. Amasado**

Posteriormente, se amasó la mezcla uniforme, cuyo tiempo de amasado fue determinado por el equipo Mixolab CHOPIN con el fin de obtener una masa elástica y homogénea (Rosell *et al.*, 2009).

**d. División/pesado**

Se dividió la masa homogénea en pesos iguales de 130 gramos de masa en cada molde de aluminio, el cual fue enharinado y engrasado previamente.

**e. Reposo**

La masa se bolea con un ligero movimiento de rotación hacia dentro para reconstruir manualmente la estructura de la masa y se reposó por un tiempo de 10 minutos a fin de relajar la masa facilitando el moldeado posterior y recuperar la desgasificación, debido al proceso

de división y boleado realizado, el cual debilitó en cierta medida la masa obtenida para cada tipo de formulación.

**f. Moldeado**

Cada masa pesada de 130 g, se extendió completamente con ayuda de un rodillo de manera uniforme para proceder al armado con la forma deseada, el cual se enrolló manualmente del tamaño del molde.

**g. Fermentación**

Se colocaron los moldes sobre las rejillas dentro de la cámara fermentadora FRAVILL acondicionada. Se dejó que las porciones de masa se expandan por 45 minutos a 30°C a una humedad relativa de 80-85 %.

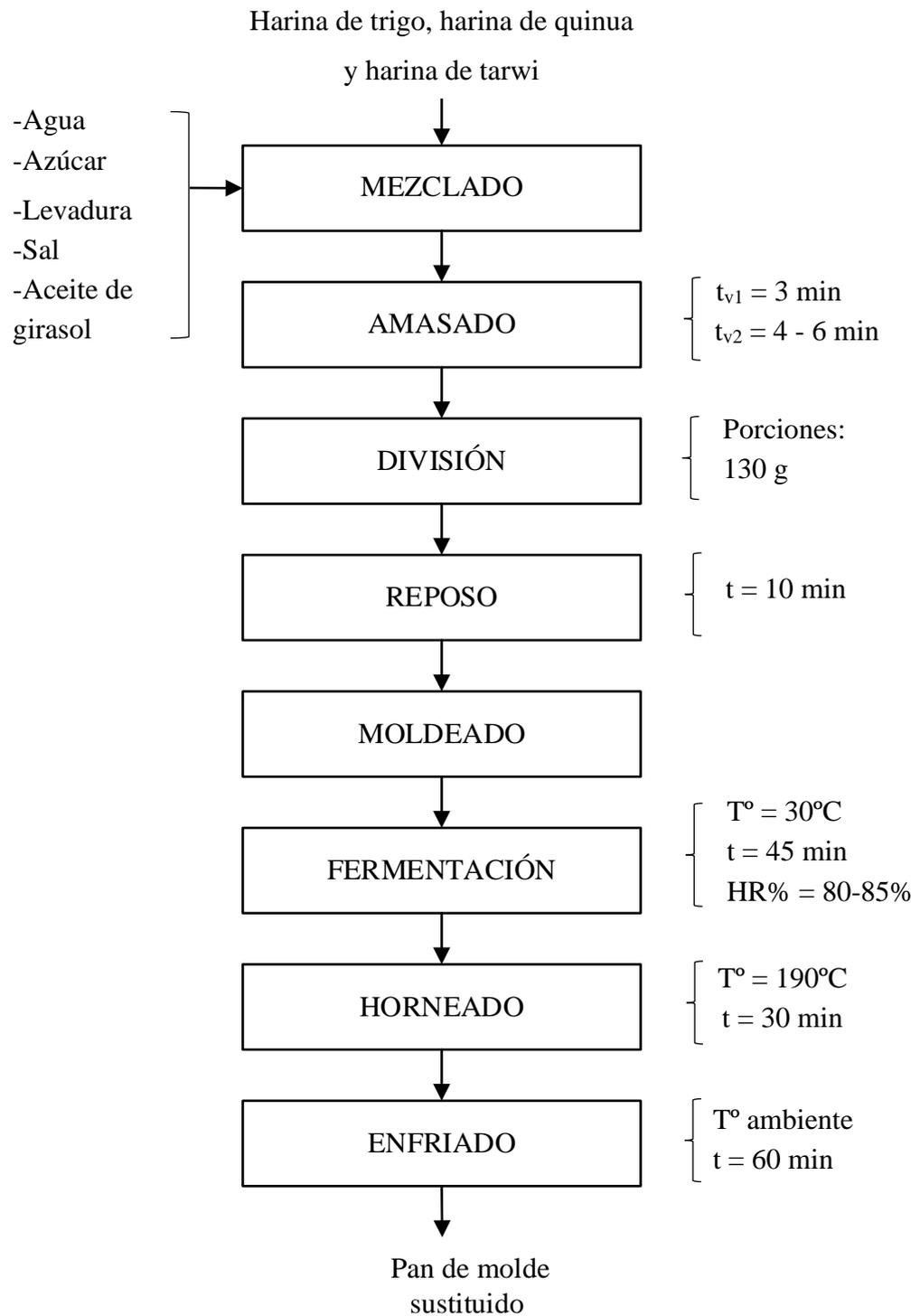
**h. Horneado**

Se introdujeron los moldes de aluminio que contienen la masa del pan, al horno ELECTROLUX a una temperatura de 190 °C por 30 minutos, hasta que la cocción se dé completamente en el producto final.

**i. Enfriado**

Se dejó enfriar a temperatura ambiente los panes horneados, por el tiempo de una hora para proceder a las determinaciones volumétricas de la miga y análisis concernientes.

En la Figura 9, se presenta el diagrama de flujo para el proceso de elaboración de pan de molde con una mezcla de harina de trigo, quinua y tarwi.



**Figura 9: Flujo de operaciones para la obtención de pan de molde con sustitución**

FUENTE: García (2011)

### 3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se realizó en cuatro etapas, la primera consistió en la caracterización mediante un análisis proximal de las harinas de trigo, quinua y tarwi a utilizar en las formulaciones, puesto que se buscará realizar una comparación en su composición con el producto final. Asimismo, se analizó el perfil viscoamilográfico de cada una de las harinas mencionadas.

La segunda etapa se basó en la caracterización reológica de las mezclas de harinas mediante el perfil viscoamilográfico y comportamiento reológico; con el fin de conocer las características del almidón relacionadas con su gelatinización y retrogradación; asimismo, de las proteínas presentes, de modo que puedan ser comparados con la formulación control (100 % harina de trigo). Luego, un análisis de perfil de textura a las masas obtenidas de las once formulaciones mostradas en la Tabla 7, las cuales fueron desarrolladas por el Diseño de Mezclas a partir de restricciones mínimas y máximas de las harinas de trigo, quinua y tarwi, observadas en la siguiente Tabla 8.

**Tabla 8: Restricciones mínimas y máximas de los componentes de harinas**

Componentes	Restricción mínima	Restricción máxima
Harina de trigo (HT)	80 %	100 %
Harina de quinua (HQ)	0 %	20 %
Harina de tarwi (HW)	0 %	20 %

FUENTE: Rosell *et al.* (2009)

La Tabla 9 detalla las proporciones de los tratamientos formulados de acuerdo al diseño de mezcla.

**Tabla 9: Proporciones de los tratamientos formulados de acuerdo al diseño de mezcla**

<b>Formulación</b>	<b>HT (%)</b>	<b>HQ (%)</b>	<b>HW (%) *</b>
<b>F1</b>	80	20	0
<b>F2</b>	100	0	0
<b>F3</b>	86,66	6,67	6,66
<b>F4</b>	90	0	10
<b>F5</b>	80	0	20
<b>F6</b>	83,33	13,33	3,33
<b>F7</b>	83,33	3,33	13,33
<b>F8</b>	90	10	0
<b>F9</b>	93,33	3,33	3,33
<b>F10</b>	80	10	10
<b>F11</b>	90	5	5

\*HT=Harina de trigo; HQ=Harina de quinua; HW=Harina de tarwi.

La tercera etapa, consistió en la elaboración de pan de las once formulaciones, con el fin de analizar las propiedades fisicoquímicas (color, volumen específico, proteínas y porosidad) y texturales (TPA), para luego elegir la mejor formulación, donde los criterios de optimización se basaron en cuatro atributos de calidad del pan representadas por variables respuestas: volumen específico (maximización), proteínas (maximización), dureza (minimización), *set-back* (minimización). En ese sentido, cada variable de respuesta ( $Y_n$ ) se convierte en una función de deseabilidad individual ( $D_n$ ) que varía de 0 a 1; es decir, para encontrar los niveles de factor que llevará a un valor de variable de respuesta máximo, será necesario establecer  $d_n = 1$  para valores altos y  $d_n = 0$  para valores bajos de la variable de respuesta. Por el contrario, para un valor mínimo de variable de respuesta, es necesario establecer  $d_n = 0$  para valores altos y  $d_n = 1$  para valores bajos. Encina-Zelada *et al.* (2019) señala la función de deseabilidad como:

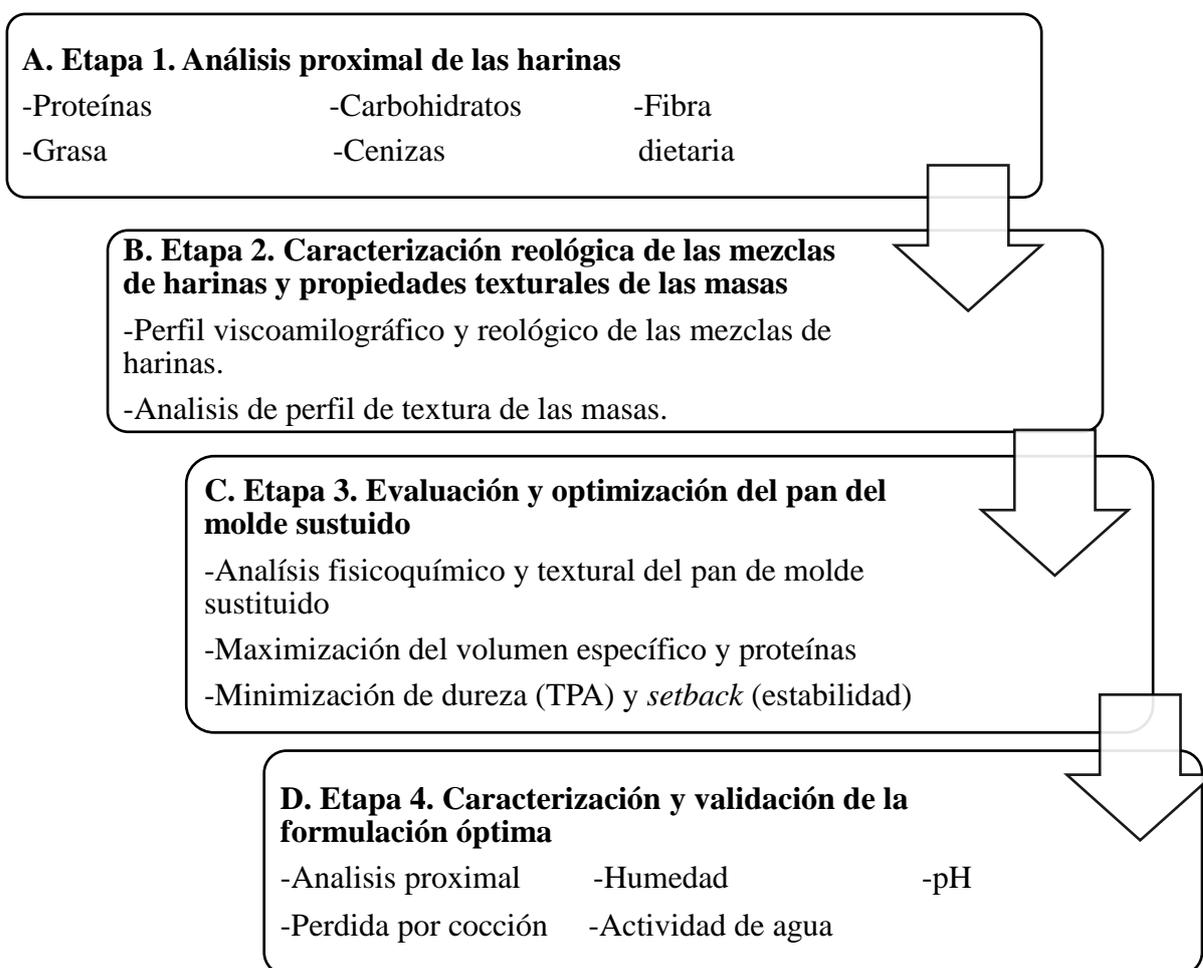
$$D_n = \sqrt[n]{d_1 \times d_2 \times \dots \times d_n}$$

Dónde: D se define como la media geométrica de las funciones de deseabilidad individuales que corresponden a la variable 1 ( $d_1$ ), variable 2 ( $d_2$ ), variable "n" ( $d_n$ ) y "n" es el número

de variables de respuesta a optimizar. El algoritmo debe buscar valores de variable de respuesta donde D tiende a 1.

Por último, la cuarta etapa consistió en la validación de la formulación óptima y la posterior caracterización de ésta, mediante un análisis proximal y fisicoquímico (pH, humedad, pérdida por cocción y aw).

Las cuatro etapas ya mencionadas se presentan en la Figura 10.



**Figura 10: Etapas de la investigación de pan de molde con sustitución parcial de harina de quinua y tarwi**

La Figura 11 muestra el diseño experimental del trabajo de investigación sobre pan de molde con sustitución parcial de harina de quinua y tarwi:

		Operaciones						
		Recepción	Formulación	Amasado	Fermentación	Horneado	Enfriado	Producto final
Tratamientos	● Harina de trigo (HT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-HT + HQ+ HW</li> <li>-Agua</li> <li>-Sal</li> <li>-Azúcar</li> <li>-Levadura</li> <li>-Aceite</li> </ul>	●	●	●	●	●	} Formulación óptima
	● Harina de quinua (HQ)		●	●	●	●	●	
● Harina de tarwi (HW)	●		●	●	●	●		
	●		●	●	●	●		
	●		●	●	●	●		
	●		●	●	●	●		
	●		●	●	●	●		
	●		●	●	●	●		
Parámetros		Peso de ingredientes	Tiempo 1 = 2min Tiempo 2 = 4min	T° = 30°C HR% = 80-85% Tiempo = 45 min	T° = 190°C Tiempo = 30 min	T ambiente -Maximización y minimización	Deseabilidad (D≈ 1)	
Análisis	-Análisis proximal de las harinas	- Perfil viscoamilográfico  -Análisis reológico	-Dureza - Cohesividad -Adhesividad -Elasticidad			-Volumen específico, porosidad ( <i>void fraction</i> )  -Dureza, color, proteínas, <i>setback</i>	-Composición proximal, % Pérdida cocción, humedad, aw, pH	

Figura 11: Diseño experimental de la investigación acerca de pan de molde con sustitución parcial de harina de quinua y tarwi

### 3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se empleó el *software Statgraphics* (versión 9.0.6.2 MN). El análisis de las harinas (Etapa 1) y la caracterización reológica de las mezclas de harinas y masas (Etapa 2), se realizó mediante un análisis de varianza de una vía (*one way ANOVA*) trabajando con un nivel de significancia del 5% ( $\alpha = 0.05$ ). En caso que el ANOVA sea significativo ( $p \text{ value} < 0.05$ ) se realizó un análisis de comparación con la prueba de Tukey.

Los resultados obtenidos en la tercera etapa se analizaron con un análisis de varianza (ANVA) y un análisis de regresión múltiple con un nivel de confianza del 95% ( $p < 0.05$ ). Para la evaluación del efecto de las harinas en el pan de molde sustituido, se empleó el *software Design Expert* cuyo objetivo fue determinar el modelo matemático de mejor ajuste de los resultados experimentales.

En la cuarta etapa, sobre la validación de la formulación óptima, se comparó el valor teórico con el valor experimental de cada una de las variables analizadas. Esta comparación se llevó a cabo con una prueba de límite de confianza al 95%; en donde se buscó que el valor experimental se encontrara dentro del 95% de confianza del valor teórico.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS

#### 4.1.1. ANÁLISIS PROXIMAL

Se analizó la composición proximal de las tres harinas utilizadas en las 11 formulaciones de pan: harina de trigo (HT), harina de quinua (HQ) y harina de tarwi (HW). En la tabla 10 se presentan los contenidos en base seca de proteínas, grasa, cenizas y carbohidratos de la harina de trigo, quinua y tarwi; cuyas humedades fueron de  $14 \pm 0.1$  %,  $9.53\% \pm 0.3$  y  $6.72 \pm 0.8$  %, respectivamente.

**Tabla 10: Valores medios de la composición proximal de las harinas (b.s)**

Contenido	Harina de Trigo	Harina de quinua	Harina de tarwi
Proteína (%)	$15.48 \pm 0.03^a$	$14.91 \pm 1.0^b$	$55.22 \pm 0.3^c$
Cenizas (%)	$0.70 \pm 0.00^a$	$2.84 \pm 0.01^b$	$1.75 \pm 0.02^c$
Carbohidratos totales (%)	$82.53 \pm 0.01^a$	$74.82 \pm 1.02^b$	$20.86 \pm 0.42^c$
Grasa (%)	$1.29 \pm 0.01^a$	$7.43 \pm 0.10^b$	$22.16 \pm 0.30^c$
Fibra dietaría soluble (%)	$1.81 \pm 0.02^a$	$2.53 \pm 0.06^b$	$3.48 \pm 0.05^c$
Fibra dietaria Insoluble (%)	$1.34 \pm 0.01^a$	$10.52 \pm 0.23^b$	$12.11 \pm 0.04^c$

Los datos se presentan como media  $\pm$  D.S (n=2). Las letras diferentes dentro de la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) por la prueba Tukey.

Según la Tabla 10, el contenido de grasa, proteína, cenizas, carbohidratos, fibra dietaria soluble e insoluble resultaron diferentes significativamente ( $p < 0,05$ ) según el tipo de harina.

La harina de trigo presentó una humedad de 14%, este valor cumple con lo permitido por la NTP 205.064 (2015) que establece una humedad máxima de 15%. En lo que concierne a la harina de tarwi, esta presentó una humedad de 6.72, los cuales fueron muy cercanos a lo reportado por Rosell *et al.*, (2009), humedad de 14.21% y 6.14% para la harina de trigo y harina de tarwi, respectivamente. Por otra parte, la humedad de la harina de quinua fue de 9.53%, la cual corresponde con Pereira *et al.*(2019), quienes reportaron valores de humedad entre 9,30 - 9,70%, según el tipo de variedad de quinua. Dicha humedad no supera el valor máximo de 13.5% permitido para la harina de quinua por la NTP 011.451 (2013).

En relación al contenido de proteínas para la harina de trigo, se observó un valor de 13.32%, el cual es similar al señalado por Gostin (2019), de 13.2% y al reportado por Asif *et al.*, (2013) de 13.25%. La harina de quinua por su parte, presentó un 14.91% de proteínas, encontrándose cercano al valor de 14.08% señalado por Emma *et al.*, (2016), quienes evaluaron a la variedad de quinua Pasankalla; de ahí la diferencia de composición nutricional que argumentan Nowak *et al.*, (2015) entre una variedad a otra, donde también influyen factores agronómicos variables como la concentración de minerales en el suelo de cultivo y uso de fertilizantes. Por el lado de la harina de tarwi, esta presentó un 55.22% de proteína, un valor cercano al reportado por Rosell *et al.*, (2009) de 57.36%. y superior al que encontró Navia-Coarite *et al.*, (2019) de 48.0%.

Respecto al contenido de cenizas, la harina de trigo presentó un valor de 0.70%, lo cual corresponde con lo dispuesto por la NTP 205.064 (2015) para la harina de trigo de tipo especial, con un valor máximo de 0.75%., para ello, Anticono (2017) relaciona el incremento del contenido de cenizas con el nivel de extracción sometido durante la molienda, dicho de otra manera, una harina más refinada corresponde a un valor de cenizas menor. En ese mismo contexto, la harina de quinua presentó un contenido de cenizas de 2.84%, por consiguiente, ello refiere una menor remoción del pericarpio durante la molienda del grano; este valor reportado experimentalmente, es similar al que encontraron Pereira *et al.*, (2019), de 2.6%, para la misma variedad de quinua. Sarmiento (2015) señala un mayor contenido de nutrientes en harinas a valores más altos de cenizas. La harina de tarwi, su contenido de cenizas fue de 1.75%, cuyo valor fue inferior al reportado por Rosell *et al.* (2009) de 2.61%. Los carbohidratos presentes en la harina de trigo fueron de 82.53%, valor cercano a 78.93% el cual reportó Gewehr *et al.* (2016) y muy superior al que señaló Gostin (2019) de 75.3% en su

investigación. En el caso de la harina de quinua, se observó un valor de 74.82%, el cual fue muy similar al reportado por Maza (2020) de 75.87% e inferior al que encontró Pereira *et al.* (2019) de 77%, ambos para la misma variedad de quinua Blanca Junín. La harina de tarwi, por su parte, presentó un contenido de carbohidratos menor e igual a 20.86%, el cual fue mayor con lo señalado por Navia-coarite *et al.* (2019) de 16.41%.

En cuanto al contenido de grasa, se observa un valor de 1.1% para la harina de trigo, el cual estuvo en el rango de los valores reportados por Rosell *et al.* (2009) de 0.92% y; Gostin (2019) de 1.4%. Luego, la harina de quinua presentó un contenido de grasa de 7.43%, un valor superior al reportado por Pereira *et al.* (2019) de 6.8%, sin embargo, muy cercano al valor que indicó Pacheco (2016) de 7.24% de grasa para harina de quinua. Por otra parte, la harina de tarwi presentó un 22.16% de grasa; el cual fue inferior a lo señalado por Rosell *et al.* (2009) de 25.40%.

La fibra dietaria total corresponde a la suma de fibra soluble e insoluble, donde la harina de quinua presentó valores de 2.53% y 10.52%, respectivamente, lo cual, de acuerdo a Glorio, *et al.* (2008), reportaron valores de 2.5% y 12.20%, respectivamente para el mismo tipo de harina, quienes relacionan estos valores con una mayor composición de pericarpio en los granos andinos en comparación a otros cereales debido al contenido de celulosa, lignina, hemicelulosa existentes en la fibra dietética insoluble. Del mismo modo, para leguminosas, los mismos autores reportaron valores de fibra dietaria soluble 2.86% así como 14.96 %; de insoluble para el caso de frijol canario; los cuales fueron valores cercanos a la harina de tarwi, siendo una leguminosa, presentó valores de fibra dietara soluble de 3.48% e insoluble de 12.11%., mientras que, el contenido de fibra soluble e insoluble del trigo fue de 1.81% y 1.34%, respectivamente, cercanos a los valores reportados por Ragaee *et al.* (2011) de 1.5% de fibra dietaria soluble y 2.4% de fibra dietaria insoluble.

## **4.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE HARINAS**

### **4.2.1. PERFIL VISCOAMILOGRÁFICO DE LAS MEZCLAS DE HARINAS**

En la siguiente Tabla 11, se detallan los resultados de las propiedades de la pasta para las once formulaciones

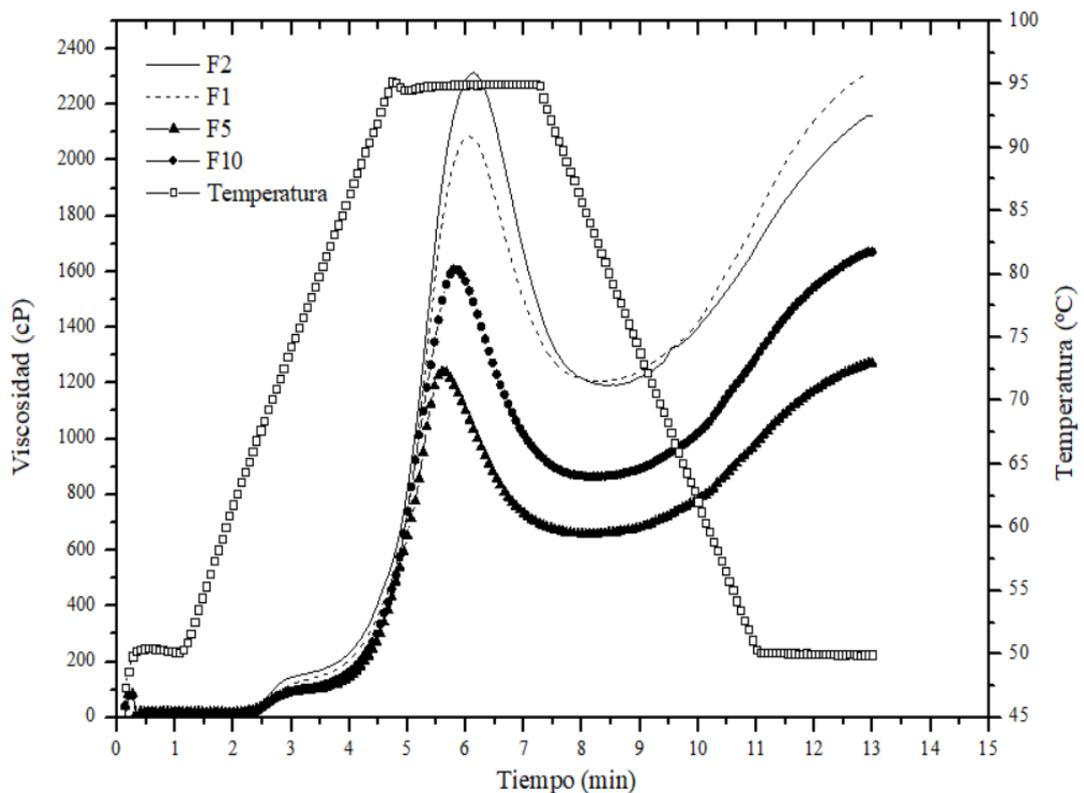
**Tabla 11: Perfil viscoamilográfico de las mezclas de harinas**

Formulación	Porcentaje de harinas (%)			Propiedades viscoamilográficas (cP)			
	HT	HQ	HW	Viscosidad inicial (VI)	<i>Breakdown</i> (B)	<i>Trough</i> (T)	Viscosidad final (VF)
F1	80	20	0	2092.50 <sup>fg</sup> (62.93)	885.00 <sup>de</sup> (33.94)	1207.50 <sup>h</sup> (28.99)	2315.00 <sup>g</sup> (72.13)
F2	100	0	0	2314.50 <sup>h</sup> (20.51)	1123.00 <sup>f</sup> (9.89)	1191.50 <sup>h</sup> (10.61)	2162.50 <sup>f</sup> (26.16)
F3	86,66	6,67	6,66	1782.50 <sup>d</sup> (24.75)	836.00 <sup>cd</sup> (2.83)	946.50 <sup>de</sup> (21.92)	1833.50 <sup>d</sup> (17.68)
F4	90	0	10	1728.50 <sup>cd</sup> (13.44)	833.50 <sup>cd</sup> (17.68)	895.00 <sup>cd</sup> (4.24)	1713.00 <sup>c</sup> (0.00)
F5	80	0	20	1243.00 <sup>a</sup> (5.66)	585.50 <sup>a</sup> (17.68)	657.50 <sup>a</sup> (12.02)	1270.50 <sup>a</sup> (23.34)
F6	83,33	13,33	3,33	2018.00 <sup>ef</sup> (76.37)	912.00 <sup>de</sup> (52.33)	1106.00 <sup>g</sup> (24.04)	2148.50 <sup>f</sup> (21.92)
F7	83,33	3,33	13,33	1542.00 <sup>b</sup> (8.49)	740.00 <sup>b</sup> (7.07)	802.00 <sup>b</sup> (1.41)	1571.50 <sup>b</sup> (16.26)
F8	90	10	0	2216.50 <sup>gh</sup> (26.16)	965.00 <sup>e</sup> (21.21)	1251.50 <sup>h</sup> (47.38)	2320.00 <sup>g</sup> (5.66)
F9	93,33	3,33	3,33	2023.00 <sup>ef</sup> (7.07)	950.00 <sup>e</sup> (8.49)	1073.00 <sup>fg</sup> (1.41)	2034.00 <sup>e</sup> (12.73)
F10	80	10	10	1611.50 <sup>bc</sup> (9.19)	748.00 <sup>bc</sup> (2.83)	863.50 <sup>bc</sup> (6.36)	1670.50 <sup>bc</sup> (4.95)
F11	90	5	5	1931.50 <sup>e</sup> (12.02)	920.00 <sup>de</sup> (22.63)	1011.50 <sup>ef</sup> (10.61)	1956.00 <sup>e</sup> (1.41)

HT: Harina de trigo HQ: Harina de quinua HW: Harina de tarwi. Los datos se presentan como media  $\pm$  D.S (n=2). Las letras diferentes dentro de la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) por la prueba Tukey.

La Tabla 11 muestra los resultados promedios de viscosidades para las once formulaciones, observándose que, fueron significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) entre ellas, debido a la presencia de harinas sucedáneas como harina de quinua y tarwi. Cabe señalar, las formulaciones que incluyeron mayor proporción de harina de tarwi: F4, F5 y F7; presentaron descensos graduales de viscosidad inicial y final (VI y VF), los cuales fueron inferiores que, si se sustituyera la harina de quinua en las mismas proporciones (F1, F6 y F8).

Las formulaciones F1 y F8, las cuales contienen sustituciones de harina de quinua de 10 y 20%, respectivamente, no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ellas, en relación al valor de VI, B, T y VF. Asimismo, la F2 (100% harina de trigo) presentó, durante la caída de la viscosidad en el calentamiento, valores de viscosidad mínima (*Trough*) estadísticamente iguales con las formulaciones de harina de quinua al 10 y 20% (F1 y F8), respectivamente, ello corresponde con Gostin (2019), quien manifiesta que la quinua posee una mayor estabilidad que otras harinas sucedáneas durante el calentamiento a 95°C, mientras que las harinas de trigo se caracterizan por tener valores altos de VI y *Breakdown* que se evidenció en las curvas de empastado como el adelgazamiento rápido y mayor. La Figura 12 muestra el comportamiento de la viscosidad en las formulaciones F1, F2, F5 y F10.



**Figura 12: Comportamiento de la viscosidad de la pasta en F1, F2, F5 y F10**

De acuerdo a la Figura 12, la adición mayoritaria de harina de quinua (F1) genera un ligero descenso de la viscosidad en la curva, en comparación con la adición de harina de tarwi (F5), la cual desciende drásticamente. En otras palabras, viscosidad inicial, *breakdown*, *trough* y viscosidad final manifestaron un claro descenso a medida que se adicionaba proporciones considerables de harina de tarwi; para ello Vidaurre-Ruiz *et al.* (2019) manifiesta que este comportamiento se debe al elevado contenido de proteínas y lípidos del tarwi que irrumpen a las moléculas del almidón a través de una interferencia en los enlaces de hidrógeno durante la formación de la pasta, causando una disminución de las viscosidades. En efecto, era de esperarse, que el valor de la viscosidad inicial (VI), conocida también como viscosidad pico, fue mayor en la harina de trigo al 100% (2314.50 cP) y a la vez menor en la formulación con mayor sustitución de harina de tarwi (1243cP). Hernández-Gómez *et al.*, (2017), reportaron una viscosidad pico para la harina de trigo de 2245 cP, cuyo valor fue cercano al que se presentó en esta investigación.

En relación a la fibra dietaria contenida en las formulaciones, estudios de Xu *et al.* (2019) mencionaron que la fibra contenida en la harina de quinua podría restringir la migración de humedad que requiere el almidón debido a la alta capacidad de retener agua de la fibra interfiriendo en su adecuada formación de la pasta. Además, Li & Zhu (2017) plantearon que las diferencias en el contenido de fibra dietaria se correlacionan con el comportamiento de las curvas de pegado, de ahí la pronunciada diferencia en las curvas de las formulaciones F5 Y F10 contienen harina de tarwi en su composición.

Chang *et al.* (2021) mencionan que los lípidos pueden unirse almidón formando un complejo lípido-almidón debido a las cadenas hidrofóbicas que tiene el lípido que ingresan a las cavidades hidrofóbicas internas de las cadenas de almidón de una sola hélice, asimismo puede formar complejos con la amilopectina y amilosa, de esta manera retrasaría la retrogradación del almidón. Los autores también mencionan que, durante la formación de la pasta y posterior retrogradación, las proteínas presentes y el almidón compiten por el agua disponible, según la capacidad de hidratación de cada una de ellas, además puede existir una interacción electrostática entre ellos, cuando tienen la carga opuesta, a través de las fuerzas de Van der Waals formando copolímeros, todo ello afectaría durante la gelatinización y retrogradación ocasionando una reducción de los parámetros de viscosidad (Figura 12).

#### 4.2.2. PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LAS MEZCLAS DE HARINAS

La Tabla 12 muestra los parámetros reológicos medidos durante el mezclado y calentamiento de las masas de las once formulaciones:

**Tabla 12: Propiedades reológicas de las mezclas de harina durante el calentamiento**

<b>F<sub>n</sub></b>	<b>Hidratación (%)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>C1 (Nm)</b>	<b>Estabilidad (min)</b>	<b>C2 (Nm)</b>	<b>C3 (Nm)</b>
<b>F1</b>	63.1 <sup>bc</sup> (0.00)	7.15 <sup>a</sup> (0.14)	1.16 <sup>ab</sup> (0.02)	9.25 <sup>ab</sup> (0.21)	0.44 <sup>a</sup> (0.01)	1.44 <sup>a</sup> (0.01)
<b>F2</b>	62.3 <sup>a</sup> (0.01)	7.53 <sup>a</sup> (0.53)	1.2 <sup>abc</sup> (0.01)	9.85 <sup>ab</sup> (0.07)	0.56 <sup>bc</sup> (0.01)	1.53 <sup>abc</sup> (0.02)
<b>F3</b>	65.2 <sup>e</sup> (0.01)	7.97 <sup>ab</sup> (0.02)	1.22 <sup>abc</sup> (0.01)	9.5 <sup>ab</sup> (0.28)	0.57 <sup>c</sup> (0.01)	1.6 <sup>cde</sup> (0.03)
<b>F4</b>	65.5 <sup>e</sup> (0.01)	9.38 <sup>b</sup> (0.01)	1.21 <sup>abc</sup> (0.00)	10.3 <sup>ab</sup> (0.14)	0.65 <sup>d</sup> (0.01)	1.70 <sup>ef</sup> (0.01)
<b>F5</b>	68.6 <sup>g</sup> (0.01)	9.48 <sup>b</sup> (0.01)	1.31 <sup>c</sup> (0.02)	10.8 <sup>b</sup> (0.28)	0.79 <sup>e</sup> (0.01)	1.91 <sup>g</sup> (0.01)
<b>F6</b>	65.5 <sup>e</sup> (0.01)	8.03 <sup>ab</sup> (0.01)	1.09 <sup>a</sup> (0.01)	9.65 <sup>ab</sup> (0.07)	0.46 <sup>a</sup> (0.01)	1.46 <sup>ab</sup> (0.01)
<b>F7</b>	65.7 <sup>e</sup> (0.01)	9.30 <sup>b</sup> (0.01)	1.27 <sup>bc</sup> (0.00)	9.4 <sup>ab</sup> (0.85)	0.69 <sup>d</sup> (0.01)	1.76 <sup>f</sup> (0.01)
<b>F8</b>	62.8 <sup>ab</sup> (0.01)	7.25 <sup>a</sup> (0.01)	1.24 <sup>bc</sup> (0.11)	9.3 <sup>ab</sup> (0.42)	0.52 <sup>b</sup> (0.01)	1.55 <sup>abcd</sup> (0.09)
<b>F9</b>	63.8 <sup>d</sup> (0.01)	8.08 <sup>ab</sup> (0.01)	1.24 <sup>abc</sup> (0.01)	9.05 <sup>a</sup> (0.78)	0.58 <sup>c</sup> (0.01)	1.57 <sup>abcde</sup> (0.01)
<b>F10</b>	67.5 <sup>f</sup> (0.42)	8.13 <sup>ab</sup> (0.01)	1.19 <sup>abc</sup> (0.04)	9.9 <sup>ab</sup> (0.14)	0.57 <sup>c</sup> (0.01)	1.67 <sup>def</sup> (0.00)
<b>F11</b>	63.5 <sup>cd</sup> (0.01)	7.63 <sup>ab</sup> (0.01)	1.20 <sup>abc</sup> (0.01)	9.6 <sup>ab</sup> (0.14)	0.57 <sup>c</sup> (0.01)	1.59 <sup>bcde</sup> (0.04)

Los datos se presentan como media y entreparéntesis D.S (n=2); las letras diferentes dentro de la misma columna son significativamente diferentes (p < 0,05) por la prueba Tukey.

Según la Tabla 12, los valores de hidratación de las muestras tuvieron diferencias significativas entre ellas, donde el mayor valor de hidratación fue de 68.6%, requerida por la formulación 5, la cual tiene una sustitución de 20% de harina de tarwi, un valor superior a lo reportado por Doxastakis *et al.* (2002) de 63.5%, para harina de lupino (*Lupinus albus*) al 10% de sustitución, siendo este último si cercano a F4; de 65.5%.

Por otro lado, el menor valor de hidratación fue de 62.3% (F2 control), un valor muy parecido a lo reportado por Rodríguez-Sandoval *et al.* (2012) de 61.93% para harina de trigo al 100%, ello debido a que los granos andinos como la quinua y tarwi poseen una capacidad de retención de agua superior al trigo.

Dubat *et al.*, (2013) señalan que una mayor absorción de agua estimado en el equipo Mixolab se relaciona principalmente a una menor humedad de la harina, mayor cantidad y calidad de sus proteínas, así como también, un mayor contenido de fibras presentes (solubles e insolubles); ello se puede corroborar con la composición de la harina de tarwi, la cual tiene un bajo contenido de humedad y un alto contenido de fibra y proteínas en comparación a la harina de trigo.

Asimismo, existe un efecto significativo en la sustitución de harina de quinua y tarwi en la harina de trigo sobre la hidratación necesaria en cada una de las formulaciones para obtener la consistencia deseada al inicio del mezclado; esto se debe a la capacidad de retención de agua que requieren estas harinas sucedáneas siendo 68.79% y 222.79% para la harina de quinua y tarwi, respectivamente (Vidaurre-Ruiz *et al.*, 2019), evidenciando que, el tarwi posee una alta capacidad de retención de agua, por ende, los valores de hidratación en formulaciones con harina de tarwi manifiestan valores superiores que las demás formulaciones con menor contenido de dicha harina.

Generalmente, en la elaboración de pan existe una preferencia por harinas con altas capacidad de absorción de agua, porque lo relacionan con harinas de trigo fuerte (alto contenido proteico) y trigo duro (mayor contenido de almidón dañado (trigo duro) para lograr una consistencia adecuada en la masa (Rosentrater y Ever, 2018).

Por otro lado, se puede verificar que la adición de harina de tarwi a la harina de trigo (F4, F5 y F7), tiene un efecto significativo en el tiempo de desarrollo de la masa, por lo que la velocidad que tarda en desarrollar el gluten es mayor que las demás formulaciones, incluso de las que contienen mayor sustitución de harina de quinua (F1, F6 y F8). Estos resultados corresponden a Dubat *et al.* (2013), quienes manifestaron en sus estudios, que las mezclas de trigo con adición de fuentes de proteínas, como lupino, perteneciente a la especie de *Lupinus albus*, indujo un aumento significativo en el tiempo necesario para hidratar todos los componentes.

De modo similar, se puede observar que la consistencia (C1) presentada en la formulación con harina de tarwi (F5) fue mayor significativamente respecto a la formulación control y demás formulaciones. Rosell *et al.* (2009) afirman un comportamiento similar de la mezcla tarwi-trigo, la cual presentó una consistencia elevada y opuesta a otros granos andinos (quinua, kiwicha y kañiwa) ocurrida durante la etapa inicial de mezclado atribuyendo al contenido y naturaleza de sus proteínas: 57.4% proteínas en tarwi frente a 9.8%; en trigo; consecuentemente, la estabilidad durante el mezclado con una sustitución del 20% de harina de tarwi (F5) de 10.8 minutos se incrementó significativamente respecto a una sustitución de 10% con harina de quinua, de 9.05 minutos.

De lo expresado anteriormente, las formulaciones F1, F6 y F8, no presentan diferencias significativas en cuanto al tiempo de desarrollo de masa con la formulación control (F2). Hadnadev *et al.* (2011) mencionan que, a una mayor absorción de agua requerida por la harina de amaranto, la cual tiene similar composición que la harina de quinua, el tiempo de desarrollo de masa es menor

Dubat *et al.* (2013) aducen que el tiempo durante la etapa de mezclado, donde las proteínas se hidratan y empiezan a expandirse, aumentando las interacciones proteicas (glutenina y gliadina) con el fin de formar una red viscoelástica proveniente del gluten. Sin embargo, los pseudocereales como amaranto y quinua, están compuestos principalmente por proteínas de globulinas y albumina, mientras que el trigo, si contiene la gliadina y glutenina, necesarias para la formación del gluten (Alvarez-Jubete *et al.*, 2010); ello explica porque la harina de quinua no afecta el tiempo de desarrollo de masa en ninguna de las formulaciones mencionadas.

Se observó un mayor descenso del valor de C2 con la adición de harina de quinua a partir de 13.33% (F1 y F6), resultando valores entre 0.44-0.46 Nm que son muy cercanos a los obtenidos por Correa (2017), con mezclas de trigo-quinua al 10 y 20% de sustitución donde el C2 para ambos fue de 0.45 Nm; asimismo, el autor menciona que valores menores a 0.50 Nm evidencian panes con mejor volumen; sin embargo, la formulación control (F2) presentó 0.56 Nm de consistencia mientras que las mezclas, compuestas desde un 10% de tarwi de sustitución (F4, F5 y F7), presentaron valores entre 0.65–0.79 Nm, estadísticamente superiores a F2.

Hadnađev *et al.* (2011) evidenciaron un mayor descenso de C2 en pseudocereales, como la harina de amaranto, respecto a otros cereales, relacionándolo a una mayor reducción de proteínas, por ende, una menor calidad proteica debido a la agregación y desnaturalización de las proteínas presentes en ella.

Durante la gelatinización del almidón, la harina de tarwi empleada desde un 10% hasta un 20% de sustitución (F4, F5 y F7), tuvieron un efecto significativo en los resultados de C3 y fueron superiores en comparación a la formulación control y las sustituidas con harina de quinua a partir del 10% de sustitución (F1, F8 y F6), esta últimas, tuvieron valores similares de C3, de esa manera, indicaría que se mantiene la calidad del almidón entre las mezclas control y trigo-quinua.

Correa (2017) manifiesta que un valor alto de C3 evidencia harinas de buena calidad y una actividad amilásica débil, además, reporta un valor de 1.52 Nm para una mezcla de trigo-quinua sustituida al 20% (F1), siendo cercano al obtenido en esta investigación, de 1.44 Nm y muy similar al sustituido al 10% (F8), de 1.55 Nm.

Adicionalmente, Dubat *et al.*(2013) verifica que utilizando harina pura de quinua se obtiene una masa de consistencia muy baja, requiriendo una temperatura más alta que el trigo por su pasta de almidón, ello corresponde con la disminución de consistencias C2 y C3 con sustituciones con harina de quinua al 20% (F1).

La Tabla 13 presenta las propiedades reológicas de las mezclas de harinas, ocurridas durante el enfriamiento.

**Tabla 13: Propiedades reológicas de las mezclas de harinas en el enfriamiento**

<b>F<sub>n</sub></b>	<b>C4 (Nm)</b>	<b>C5 (Nm)</b>
<b>F1</b>	1.17 <sup>bc</sup> (0.02)	1.81 <sup>ab</sup> (0.03)
<b>F2 (control)</b>	1.31 <sup>e</sup> (0.01)	2.18 <sup>e</sup> (0.01)
<b>F3</b>	1.16 <sup>bc</sup> (0.00)	1.92 <sup>bc</sup> (0.02)
<b>F4</b>	1.19 <sup>c</sup> (0.01)	2.02 <sup>cde</sup> (0.01)
<b>F5</b>	1.16 <sup>bc</sup> (0.00)	1.93 <sup>bcd</sup> (0.01)
<b>F6</b>	1.11 <sup>a</sup> (0.01)	1.70 <sup>a</sup> (0.01)
<b>F7</b>	1.16 <sup>abc</sup> (0.02)	1.95 <sup>bcd</sup> (0.02)
<b>F8</b>	1.25 <sup>d</sup> (0.00)	1.99 <sup>cde</sup> (0.04)
<b>F9</b>	1.25 <sup>d</sup> (0.01)	2.10 <sup>de</sup> (0.02)
<b>F10</b>	1.12 <sup>ab</sup> (0.02)	1.80 <sup>ab</sup> (0.01)
<b>F11</b>	1.19 <sup>c</sup> (0.01)	1.97 <sup>bcd</sup> (0.01)

(1) Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis); letras diferentes dentro de la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) por la prueba Tukey.

Según la Tabla 13, tanto los valores de C4 y C5 presentaron diferencias significativas entre las formulaciones ( $p < 0,05$ ).

En relación a la actividad amilásica, el valor de C4 tuvo diferencias significativas debido a la sustitución de harinas sucedáneas tanto de quinua-trigo, tarwi-trigo o mezclas quinua-tarwi-trigo con valores inferiores en relación a la formulación control (F2). Estos resultados corresponden a Salazar (2015), quien reportó un descenso de C4 a medida que se aumentó el porcentaje de sustitución de harina de quinua.

Collar *et al.*, (2007) sustituyeron harina de trigo con harina integral, la cual esta última posee todos los componentes del grano de trigo (fibra, salvado, germen, etc.), concluyendo que la disminución de C4 se genera por la competencia entre el salvado con el almidón por el agua establecida. Ello se puede corroborar con los resultados de la presente investigación, ya que las formulaciones sustituidas con harina de quinua y tarwi, las cuales son harinas integrales y que, al ser obtenidas mediante una molienda en su totalidad del grano, pudo influir en el descenso de la consistencia C4.

Referente a la retrogradación del almidón, se puede observar que la formulación control (F2) tiene un valor de C5 significativamente superior ( $p < 0.05$ ) a las demás formulaciones. Salazar (2015) menciona que a una mayor retrogradación del almidón indicaría un menor tiempo de vida útil del producto final, además registró un rango entre 1.48 – 1.89 Nm para C5 en mezclas con trigo-quinua entre 5 - 20% de sustitución, donde las formulaciones F1, F3, F6 y F10 se encuentran dentro del rango mencionado.

Por otro lado, estudios de mezclas sustituidas con leguminosas, como la harina de soja, indican que el contenido de lípidos de la harina afectan la retrogradación de amilosa (Dubat *et al.*, 2013); siendo la harina de tarwi, procedente de una leguminosa, con alto contenido de lípidos y bajo contenido de almidón, la formulación F5 tuvo una ligera disminución en dicho parámetro, en comparación al notable descenso en formulaciones con mayor sustitución de harina de quinua (F1 y F6), por lo que la harina de quinua afecta considerablemente la retrogradación del almidón en lugar que la harina de tarwi, por ende, en los valores de la consistencia C5.

### **4.3. CARACTERIZACION DE LAS MASAS**

#### **4.3.1. ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA EN LAS MASAS**

En la siguiente Tabla 14, se observa los resultados obtenidos de las propiedades texturales de las masas sustituidas y la masa control (F2).

**Tabla 14: Propiedades texturales de las masas sustituidas por formulación**

Fn	Propiedades texturales de las masas sustituidas			
	Dureza (N)	Adhesividad (mJ)	Cohesividad	Elasticidad
<b>F1</b>	2.92 <sup>abc</sup> (0.44)	3.03 <sup>a</sup> (0.76)	0.68 <sup>a</sup> (0.15)	0.98 <sup>abc</sup> (0.05)
<b>F2</b> (control)	1.70 <sup>a</sup> (0.16)	3.33 <sup>ab</sup> (0.81)	1.00 <sup>c</sup> (0.18)	1.03 <sup>bc</sup> (0.12)
<b>F3</b>	4.50 <sup>de</sup> (0.83)	5.83 <sup>cd</sup> (0.79)	0.83 <sup>abc</sup> (0.08)	0.96 <sup>abc</sup> (0.01)
<b>F4</b>	5.47 <sup>ef</sup> (0.83)	6.65 <sup>d</sup> (1.12)	0.85 <sup>abc</sup> (0.09)	0.99 <sup>abc</sup> (0.04)
<b>F5</b>	10.45 <sup>g</sup> (0.64)	10.55 <sup>e</sup> (0.93)	0.78 <sup>ab</sup> (0.05)	1.00 <sup>abc</sup> (0.04)
<b>F6</b>	3.86 <sup>cd</sup> (0.29)	4.65 <sup>bc</sup> (0.64)	0.78 <sup>ab</sup> (0.04)	0.95 <sup>abc</sup> (0.01)
<b>F7</b>	6.07 <sup>f</sup> (0.77)	6.34 <sup>d</sup> (0.49)	0.75 <sup>ab</sup> (0.04)	0.94 <sup>ab</sup> (0.02)
<b>F8</b>	3.19 <sup>bc</sup> (0.43)	4.75 <sup>bc</sup> (0.63)	0.91 <sup>bc</sup> (0.06)	1.05 <sup>c</sup> (0.05)
<b>F9</b>	2.54 <sup>ab</sup> (0.70)	3.05 <sup>a</sup> (0.39)	0.83 <sup>abc</sup> (0.06)	0.93 <sup>a</sup> (0.02)
<b>F10</b>	5.06 <sup>def</sup> (0.70)	6.03 <sup>cd</sup> (0.14)	0.80 <sup>ab</sup> (0.07)	0.98 <sup>abc</sup> (0.04)
<b>F11</b>	4.04 <sup>cd</sup> (0.47)	5.36 <sup>cd</sup> (0.45)	0.90 <sup>bc</sup> (0.05)	0.99 <sup>abc</sup> (0.01)

(1) Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis); diferentes letras en superíndice (a, b, c, d, e, f) dentro de una columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre formulaciones.

Según la Tabla 14, las propiedades texturales de las masas sustituidas fueron significativamente diferentes entre las formulaciones ( $p \leq 0.05$ ), siendo evidente que, la dureza se vio afectada por la adición de harina de quinua y tarwi, sin embargo, este efecto fue más pronunciado en la formulación F5, la cual posee la mayor sustitución de tarwi.

La masa de la formulación control presentó un valor de dureza de 1.70 N, inferior a lo reportado por Correa *et al.* (2011); de 2.5 N, en masas 100% trigo, además, manifestaron que

la blandura de las masas es influida por el tipo de harina utilizada, formulación de la masa y el proceso de elaboración de esta, por ende, un valor inferior de dureza en la presente investigación, manifestaría una buena formulación, buena harina de trigo y un buen desarrollo de masa, los cuales fueron utilizados como base para la preparación consecuente de las demás formulaciones para panes con sustitución.

En efecto, Bigne *et al.* (2015) propone que ante un nivel alto de fibra insoluble en la harina sustituida, aumenta la dureza de las masas; es por ello que, los resultados registran un valor significativamente superior de dureza en F5 con respecto a las demás formulaciones debido al máximo contenido de fibra insoluble (12.11%) en el tarwi.

Con respecto a la adhesividad, a medida que se adicionaba harina de tarwi, se observó un aumento progresivo desde 6.07 mJ hasta 10.45 mJ con respecto a la formulación control y mezclas trigo-quinua (F1, F2 y F9), por ende, la harina de tarwi generó un mayor efecto en la característica de adhesividad de las masas.

De acuerdo a Bigne *et al.* (2018), la adhesividad tiende a crecer gradualmente conforme aumenta el % de sustitución de harinas sucedáneas; sin embargo, este efecto no fue igual con la harina de quinua, que tuvo valores similares de adhesividad que las no sustituidas, incluso en la formulación con mayor sustitución (F1). Desde la perspectiva de Khoozani *et al.* (2020), una elevada adherencia de las masas representa mayor pegajosidad y no aptas para la elaboración de panes, por ende, la presencia mayoritaria de harina de tarwi desarrolló un efecto negativo en las masas sustituidas, mientras que, la harina de trigo y la harina de quinua manifestaron un buen desarrollo de masas y apta para elaboración de panes, debido a sus bajos valores de adhesividad.

El efecto de la cohesividad, tuvo un descenso progresivo a medida que se adicionaba harina de quinua, teniendo en cuenta esta tendencia, Bigne *et al.* (2018) argumenta que la cohesividad, conocida como la capacidad interna de la masa para permanecer integrada, tiende a disminuir al reemplazar el trigo por otras harinas asociándolo al tipo de proteínas presentes que mantienen esta integridad en la estructura de la masa, siendo un aspecto positivo en ellas. Khoozani *et al.* (2020), también reportó una disminución por encima del 10% de sustitución con harina de plátano respecto al control (100% trigo).

En relación a la elasticidad, se observó un ligero aumento significativo con la adición de 10% de quinua con respecto a la formulación con menos sustitución (F9); para ello, Bigne *et al.* (2018) que sustituyó harina de algarrobo al 15%, dio a conocer esta misma tendencia donde las masas fueron más elásticas a ese nivel de sustitución en relación a la masa control, que reportó un valor de 0.47 e inferior a F2 (control); de 1.03, en ese sentido, la naturaleza y composición de la harina de trigo pueden ser factores influyentes de la diferencia de elasticidad.

De igual forma, Khoozani *et al.* (2020) encontraron valores inferiores de elasticidad en la masa control respecto a las sustituidas con harinas sucedáneas; además, refirió este parámetro a aquella tendencia de una masa deformada a retornar a la condición de no deformada después de la supresión de una fuerza; esta tendencia corresponde con los resultados de la presente investigación, donde las formulaciones con sustituciones de harina de quinua y tarwi, a pesar de su bajo contenido de gluten, presentaron buenos valores de elasticidad y cercanos a la formulación control, el cual al ser 100% trigo, posee un máximo contenido de gluten.

En relación al gluten presentes en el trigo, los autores Bigne *et al.* (2018) sostienen que produce una matriz elástica y extensible debido a interacciones tipo covalentes y no-covalentes entre los polipéptidos formado durante el amasado, debido a que el gluten está localizado en cuerpos proteicos que se rompen con la hidratación, constituyendo una red tridimensional continua en la cual se encuentra inmerso el almidón.

#### **4.4. ANÁLISIS AL PAN DE MOLDE SUSTITUIDO**

##### **4.4.1. ANÁLISIS DE COLOR DEL PAN DE MOLDE SUSTITUIDO**

El color del pan es una de las propiedades más importantes que perciben a primera vista los consumidores como determinante para su preferencia. La siguiente Tabla 15 muestra los resultados de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) en la miga y valores de  $a^*$  y  $b^*$  de la corteza del pan de molde sustituido:

**Tabla 15: Análisis de color del pan de molde sustituido**

F <sub>N</sub>	Porcentaje de Harinas (%)			Miga			Corteza	
	HT	HQ	HW	L*	a*	b*	a*	b*
<b>F1</b>	80	20	0	68.99 <sup>a</sup> (0.49)	2.48 <sup>de</sup> (0.05)	21.16 <sup>bc</sup> (0.14)	16.58 <sup>cd</sup> (0.16)	19.19 <sup>ab</sup> (0.48)
<b>F2</b>	100	0	0	73.54 <sup>g</sup> (0.66)	1.52 <sup>a</sup> (0.17)	18.72 <sup>a</sup> (1.13)	14.52 <sup>a</sup> (0.31)	24.23 <sup>e</sup> (0.38)
<b>F3</b>	86,66	6,67	6,66	70.26 <sup>cd</sup> (0.90)	2.29 <sup>c</sup> (0.13)	21.56 <sup>bcd</sup> (0.13)	16.65 <sup>cd</sup> (0.14)	21.51 <sup>cd</sup> (0.54)
<b>F4</b>	90	0	10	69.94 <sup>bc</sup> (0.95)	2.34 <sup>cd</sup> (0.21)	22.17 <sup>e</sup> (0.40)	15.69 <sup>b</sup> (0.28)	25.53 <sup>e</sup> (0.65)
<b>F5</b>	80	0	20	69.26 <sup>ab</sup> (0.33)	2.63 <sup>ef</sup> (0.07)	23.21 <sup>f</sup> (0.22)	15.74 <sup>b</sup> (0.47)	27.71 <sup>f</sup> (1.09)
<b>F6</b>	83,33	13,33	3,33	71.32 <sup>ef</sup> (0.62)	2.68 <sup>f</sup> (0.07)	21.63 <sup>cde</sup> (0.19)	16.38 <sup>cd</sup> (0.15)	19.13 <sup>ab</sup> (0.29)
<b>F7</b>	83,33	3,33	13,33	68.67 <sup>a</sup> (0.67)	2.70 <sup>f</sup> (0.10)	23.15 <sup>f</sup> (0.32)	16.70 <sup>d</sup> (0.45)	19.14 <sup>ab</sup> (1.61)
<b>F8</b>	90	10	0	70.06 <sup>bc</sup> (0.38)	2.23 <sup>bc</sup> (0.13)	20.96 <sup>b</sup> (0.19)	16.22 <sup>c</sup> (0.21)	20.38 <sup>bc</sup> (0.73)
<b>F9</b>	93,33	3,33	3,33	72.13 <sup>f</sup> (0.45)	2.08 <sup>b</sup> (0.06)	21.40 <sup>bcd</sup> (0.21)	16.77 <sup>d</sup> (0.29)	22.17 <sup>d</sup> (1.35)
<b>F10</b>	80	10	10	70.43 <sup>cd</sup> (0.07)	2.62 <sup>ef</sup> (0.09)	23.10 <sup>f</sup> (0.27)	17.33 <sup>e</sup> (0.37)	19.99 <sup>b</sup> (1.78)
<b>F11</b>	90	5	5	70.99 <sup>de</sup> (0.42)	16.60 <sup>cd</sup> (0.25)	18.53 <sup>a</sup> (0.73)	16.60 <sup>cd</sup> (0.25)	18.53 <sup>a</sup> (0.73)

HT: Harina de trigo HQ: Harina de quinua HW: Harina de tarwi. (1) Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis) (n=3). Las letras diferentes dentro de la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) por la prueba Tukey.

Según la Tabla 15, los valores de L\*, a\* y b\* tanto de la corteza como de la miga presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las formulaciones. En la corteza, los valores de la

coordinada a\* indican que hubo ligera tendencia al rojo (+), donde los panes con reemplazo con quinua y tarwi registraron una tenue superioridad en relación al control, particularmente en los panes con igual y máxima sustitución de ambas (F10). Acerca de la coordinada b\*, se distinguió una mayor tendencia al amarillo en la corteza del pan control y panes sustituidos con tarwi, sobre todo en su máxima sustitución (F5).

En relación a la miga, la formulación F2 tuvo una ligera superioridad de luminosidad con respecto a los panes sustituidos independientemente con harinas de quinua y tarwi en su máxima sustitución (F1 y F5). Sin embargo, con sustituciones con mezclas de quinua y tarwi (F3, F9, F10 y F11) presentaron una luminosidad cercana al control (F2), de 73.54. Al respecto, Rosell *et al.*, (2009) mencionan una reducción de L\* de la miga conforme reemplazaba el trigo con harinas de granos andinos (quinua, tarwi, kañiwa y kiwicha) siendo más notorio desde un 12.5% de reemplazo para cada harina, que fueron independientemente sustituidas. Chisenga *et al.* (2020) también menciona que es más aceptable tener una corteza más oscura que la miga, por ende, se puede verificar con los resultados presentados que todos los panes son aceptables.

Respecto a la coordinada a\* de la miga, las sustituciones con mezclas de quinua y tarwi que superaron los 16% en conjunto, incrementaron levemente el valor de a\* en lugar de las mezclas con menor % de sustitución incluyendo al trigo al 100% (F2); siendo este último el de menor valor respecto a las demás. Acerca de b\*, adicionar 10% o 20% de quinua (F1 y F8) no difieren en el valor de b\* de la miga, menos aún con mezclas con tarwi y quinua entre 3-7% (F3, F9 y F11); pero estas si son ligeramente superiores que el pan control, siendo más notorio en los panes con reemplazo de tarwi en su máxima sustitución (F4 y F5). De acuerdo a Chisenga *et al.* (2020), el desarrollo de un color amarillento (mayor b\*) podría atribuirse a la reacción no enzimática entre el azúcar reductor y proteínas presentes en las harinas.

#### **4.4.1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL PAN DE MOLDE SUSTITUIDO**

En la Tabla 16, se detalla las propiedades fisicoquímicas de los panes sustituidos según las formulaciones dadas.

**Tabla 16: Propiedades fisicoquímicas del pan de molde sustituido**

<b>F<sub>n</sub></b>	<b>Volumen específico(ml/g)</b>	<b>Void Fraction (%)</b>	<b>Proteínas</b>	<b>Luminosidad corteza</b>
<b>F1</b>	2.33 <sup>bc</sup> (0.07)	38.37 <sup>bcd</sup> (0.72)	14.53 <sup>bc</sup> (0.10)	41.90 <sup>a</sup> (0.87)
<b>F2(control)</b>	2.67 <sup>a</sup> (0.04)	44.84 <sup>a</sup> (3.15)	14.37 <sup>b</sup> (0.00)	53.59 <sup>e</sup> (0.48)
<b>F3</b>	2.13 <sup>d</sup> (0.02)	37.82 <sup>cd</sup> (0.33)	15.18 <sup>de</sup> (0.09)	46.73 <sup>d</sup> (0.20)
<b>F4</b>	2.18 <sup>cd</sup> (0.02)	40.84 <sup>abcd</sup> (1.85)	15.82 <sup>f</sup> (0.06)	52.58 <sup>e</sup> (0.09)
<b>F5</b>	1.87 <sup>e</sup> (0.07)	33.29 <sup>e</sup> (1.23)	20.12 <sup>h</sup> (0.10)	52.45 <sup>e</sup> (1.58)
<b>F6</b>	2.24 <sup>cd</sup> (0.04)	39.36 <sup>bcd</sup> (2.14)	15.02 <sup>cd</sup> (0.20)	42.49 <sup>ab</sup> (0.15)
<b>F7</b>	1.92 <sup>e</sup> (0.03)	39.51 <sup>bcd</sup> (0.99)	17.83 <sup>g</sup> (0.28)	46.33 <sup>d</sup> (0.87)
<b>F8</b>	2.47 <sup>ab</sup> (0.10)	41.31 <sup>abc</sup> (1.82)	12.94 <sup>a</sup> (0.03)	45.98 <sup>d</sup> (0.49)
<b>F9</b>	2.52 <sup>ab</sup> (0.15)	41.75 <sup>ab</sup> (2.07)	15.44 <sup>def</sup> (0.04)	46.22 <sup>d</sup> (0.55)
<b>F10</b>	2.11 <sup>d</sup> (0.06)	37.28 <sup>d</sup> (1.00)	15.73 <sup>ef</sup> (0.04)	43.54 <sup>bc</sup> (0.83)
<b>F11</b>	2.16 <sup>cd</sup> (0.02)	40.97 <sup>abc</sup> (0.46)	14.91 <sup>bcd</sup> (0.31)	44.28 <sup>c</sup> (1.00)

(1) Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis) (n=3); las letras diferentes dentro de la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) por la prueba Tukey.

En la Tabla 16, puede observar que panes sustituidos con mezclas de quinua-tarwi (F3, F6, F10 y F11), presentaron valores entre 2.11-2.24ml/g y sin diferencias significativas entre ellas y ligeramente inferiores al control (F2).

En la Tabla 17, se observa el modelo predictivo que detalla el efecto de las harinas sobre las propiedades fisicoquímicas del pan (volumen específico, *void fraction*, proteínas y luminosidad).

**Tabla 17: Modelos predictivos sobre las propiedades fisicoquímicas del pan**

<b>Respuestas</b>	<b>Modelos predictivos</b>
<b>Volumen específico(ml/g)</b>	$Y_1 = 2.61A + 1.01B - 1.53C$
<b>Void Fraction (%)</b>	$Y_2 = 44.83A + 13.23B - 4.25C$
<b>Proteínas (%)</b>	$Y_3 = 13.80A + 13.74B + 41.86C$
<b>Luminosidad</b>	$Y_4 = 53.04A + 250.85B + 215.60C - 313.62AB - 206.81AC - 444.52BC$

A: Harina de trigo B: Harina de quinua C: Harina de tarwi

De acuerdo a la ecuación  $Y_1$  la harina de trigo afecta en mayor magnitud que la harina de quinua, mientras que la harina de tarwi, al tener un coeficiente negativo, causa una disminución del volumen específico. Este efecto, se distinguió también con la ecuación  $Y_2$  perteneciente al *void fraction* (%), donde se observa un aumento de este, a medida que se adiciona harina de trigo, seguido de la quinua, por el contrario, el tarwi origina un descenso ligero de este valor. En el caso de la ecuación  $Y_4$ , las harinas de trigo, quinua y tarwi, tuvieron un efecto creciente, siendo el tarwi el que posee mayor impulso (coeficiente grande) para aumentar este resultado.

Acerca de la luminosidad de la corteza, el modelo que mejor se ajustó fue el de tipo cuadrático, por lo que la ecuación  $Y_4$  si presentó interacción entre harinas. En la Tabla 17, se puede observar que interacciones entre harinas sucedáneas (B y C) impulsa con más fuerza el descenso de la luminosidad en lugar de interacciones de A y B, seguido de A y C, ello es debido al coeficiente presentado.

En resumen, la Tabla 18 se exponen los datos de análisis de varianza (ANOVA) que muestra el F-test y el p-valor (entre paréntesis, Prob >F) del modelo completo, términos de mezcla lineal, términos de interacción y falta de ajuste de modelos polinomiales ajustados sobre las propiedades fisicoquímicas del pan de molde. Además, se muestran, las medidas de bondad de ajuste que incluyen coeficiente de variación (CV), suma de cuadrados del error residual predicho (PRESS), coeficiente de determinación ( $R^2$ ),  $R^2$  ajustado ( $R^2$  adj),  $R^2$  predicho ( $R^2$  pred) y precisión adecuada (AdPrec).

**Tabla 18: Resumen estadístico del análisis de varianza (ANOVA) y bondad de ajuste sobre las propiedades fisicoquímicas del pan**

Variables dependientes	ANOVA						Bondad de ajuste					
	Modelo	Términos lineales de mezcla	AB	BC	AC	<i>Lack-of-fit</i>	CV (%)	PRESS	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> adj	R <sup>2</sup> pred	Ad-Prec
Volumen específico (ml/g)	74.82 (<0.0001)	74.82 (<0.0001)	-	-	-	6.15 (<0.0003)	4.61	0.38	0.83	0.82	0.80	26.60
<i>Void Fraction</i> (%)	42.19 (<0.0001)	42.19 (<0.0001)	-	-	-	2.28 (0.0457)	4.79	187.35	0.69	0.67	0.58	14.82
Proteínas	65.80 (<0.0001)	65.80 (<0.0001)	-	-	-	49.40 (0.001)	4.45	12.95	0.87	0.86	0.82	21.92
Luminosidad	64.96 (<0.0001)	131.19 (<0.0001)	17.95 (0.0001)	34.56 (0.0001)	7.80 (0.0072)	42.10 (0.0001)	3.56	212.21	0.86	0.84	0.80	16.93

(1) F-test y el p-valor (entre paréntesis, Prob >F) del modelo completo, términos de mezcla lineal, términos de interacción y falta de ajuste de modelos polinomiales ajustados; ; datos de medidas de bondad de ajuste que incluyen coeficiente de variación (CV), suma de cuadrados del error residual predicho (PRESS), coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), R<sup>2</sup> ajustado (R<sup>2</sup> adj), R<sup>2</sup> predicho (R<sup>2</sup> pred) y precisión adecuada (AdPrec). “-” indica términos de no significancia (p>0.05).

La prueba de ANOVA muestra resultados altamente significativos en el modelo y de tipo lineales de mezcla para las variables: volumen específico, *void fraction* y proteínas, asimismo, todas presentaron interacciones no significativas entre AB, BC y AC para cada una. En los valores de bondad de ajuste, se puede observar un R<sup>2</sup> cercano a 1, con valores entre 0.69-0.87 para todas las variables anteriormente mencionadas, de ahí se puede corroborar el modelo adecuadamente elegido, la misma tendencia se observa en valores de R<sup>2</sup> adj y R<sup>2</sup> pred.

De igual manera, los valores para luminosidad de corteza (valor p de la prueba  $F < 0,0001$ ) resultó significativo, así como también en términos lineales de mezcla, mientras que las interacciones entre AB, BC y AC fueron significativas para esta característica.

Los valores de  $R^2$  describieron valor de 0.8552,  $R^2$  ajustado de 0.84 y  $R^2$  predicho, de 0.80 bajo este modelo, por lo que, valida su elección, ya que los valores mencionados son cercanos a 1.

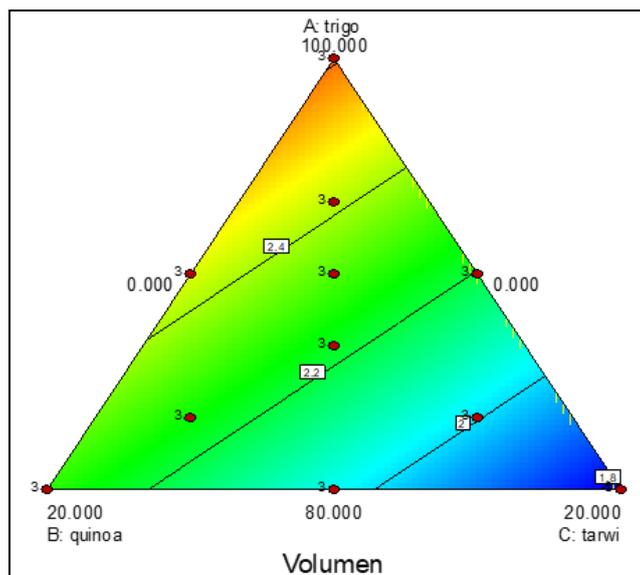
En relación al CV (%), el valor más bajo fue para luminosidad (3.56), mientras que el más alto fue para *void fraction* (4.79), siendo todas las variables descritas menores a 10% deduciendo que son aceptables para el método. Acerca del AdPrec, fueron todos superiores a 4 por lo que son discriminativos correctamente de una formulación a otra.

Luego de haber obtenido los modelos predictivos de cada una de las propiedades fisicoquímicas del pan, se obtuvieron los gráficos de respuesta tridimensionales del volumen específico (ml/g), *void fraction* (%), proteínas (%) y luminosidad, donde se verifica gráficamente las ecuaciones generadas del modelo mencionado a diferentes concentraciones de harina de trigo, quinua y tarwi que abarcan en cada zona del triángulo, donde los puntos expresan cada una de las once formulaciones generadas en el diseño de mezclas en el gráfico en tres dimensiones según la variable de respuesta estudiada (Ver Anexo 1).

#### **a. Efecto de las harinas sobre el volumen específico**

El comportamiento viscoelástico de una masa con trigo (gluten) provee la fuerza necesaria que favorece el volumen de productos panificados, por lo que una mayor sustitución origina decrecientes volúmenes específicos, siendo un efecto negativo frente a esta característica (Huánuco, 2020).

El efecto de las harinas sucedáneas (B y C) y la harina de trigo (A) sobre el volumen específico en los panes sustituidos se muestra en el gráfico de contorno bidimensional de la Figura 13:



**Figura 13: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) sobre el volumen específico**

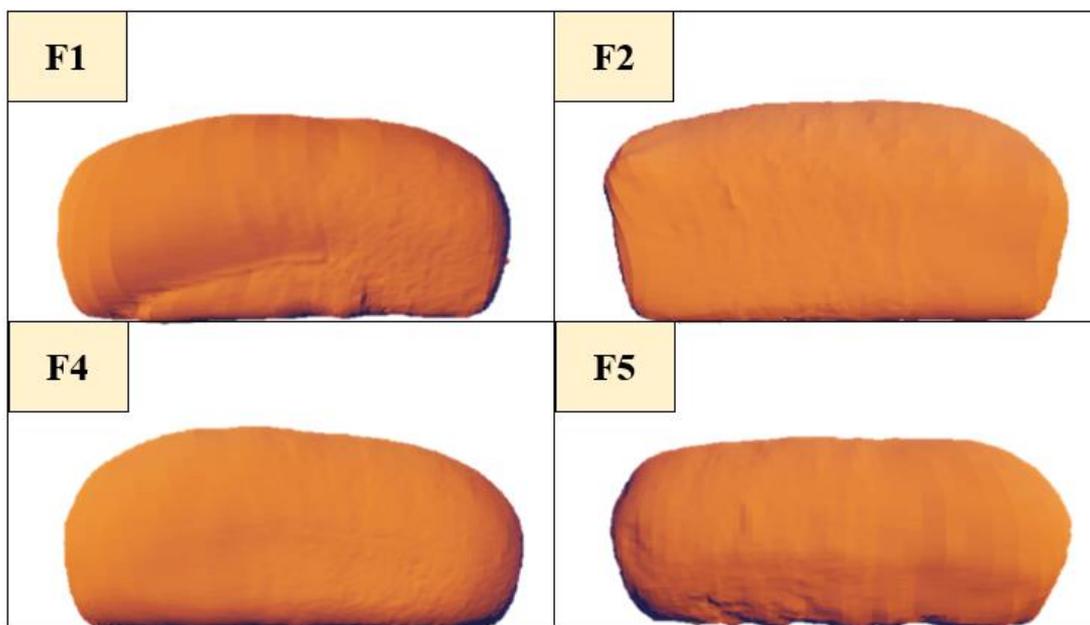
Según la Figura 13, se observa que altos porcentajes de harina de quinua y tarwi, siendo este último el más trascendente, desarrollaron volúmenes bajos (zona azul-verdosa), provocado por una baja calidad de gluten ya que se disminuye el porcentaje de trigo, principal fuente de esta proteína.

Por otro lado, panes sustituidos con mezclas de tarwi y quinua al 3.33% de reemplazo de cada harina (F9) incluso sustituidos con solo quinua al 10% (F8), no presentaron diferencias significativas con el control, con un volumen de 2.67ml/g (Tabla 16), este valor fue muy cercano a los reportado por Švec *et al.*,(2020); de 2.58ml/g, para panes con 10% de sustitución con harina de quinua, mientras que Peña (2020) reportó un valor inferior; de 2.46ml/g para un pan control (100% trigo), ambos autores atribuyen un mayor contenido de azúcares fermentables en quinua, el cual permite una mayor producción de gases fermentables, de allí que Edel y Rosell (2007) argumentan que los cultivos andinos en general tienen mayor contenido de azúcares que los cereales.

Del mismo modo, no se observó un efecto negativo del volumen al aumentar el contenido de quinua del 10% (F9) al 20% (F1), pero ambos son inferiores al control (Figura 13), esta

tendencia también fue ratificado por Švec *et al.*(2020), con los mismos niveles de reemplazo con quinua en panes de molde.

La Figura 14 muestra la comparación de imagen en 3D de los panes F1, F2, F4 y F5.



**Figura 14: Imagen en 3D de los panes F1, F2, F4 y F5 obtenidas por topografía láser**

De las evidencias presentadas (Figura 13 y 14), existe un decrecimiento significativo del volumen específico a medida que se incrementa la sustitución con harina de tarwi o mezclas con tarwi y quinua, desde un 5% de reemplazo hasta un 20 %, siendo más notable con tarwi.

Rosell *et al.*, (2009) mencionaron que panes con niveles mayores a 12.5 % de sustitución de quinua o tarwi generan una reducción significativa del volumen específico, además registran un volumen de 2 ml/g para un 25% de sustitución con tarwi, muy cercano a la presente investigación, de 1.87 ml/g (F5) y de similar composición.

En relación a la composición de estas harinas sucedáneas, Rosell y Santos (2010) refiere que la presencia de fibra insoluble ocasiona un efecto negativo en el volumen del pan, debido a que imposibilita la expansión libre de la masa durante la fermentación, además de contener

un mayor contenido de agua, una falta de gluten en la matriz de masa; todo ello perjudica la retención de gas, disminuyendo el volumen esperado.

#### **b. Efecto del *void fraction* en análisis de porosidad**

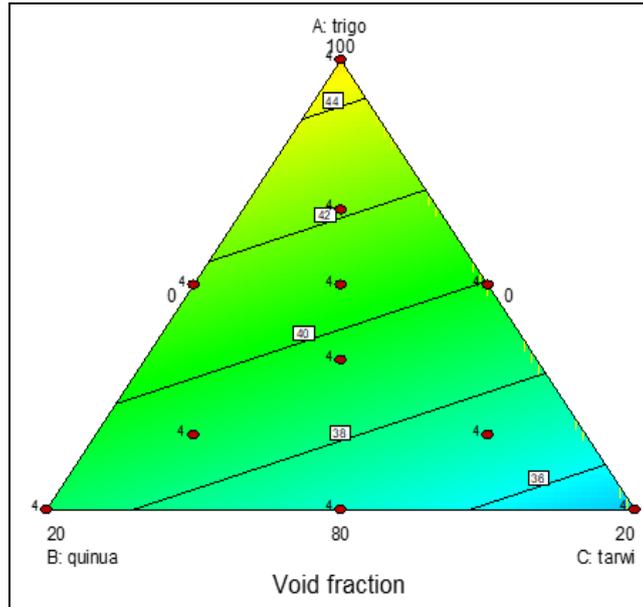
De los resultados anteriores (Tabla 16), el máximo valor de *void fraction* fue de 44.84 %, correspondiente a la formulación control. Asimismo, sustituir mezclas de quinua-tarwi con 3 o 5 % de cada harina sucedánea (F9 y F11) y panes con 10% de cada harina por separado (F4 y F8), no afecta significativamente esta característica.

Encina-zelada *et al.* (2019), reportaron valores de 28.8 - 44.6 % para panes a base de arroz, maíz y quinua blanca, por lo que los resultados presentados, se encuentran dentro de ese rango, asimismo, el autor sugiere valores altos de esta característica en la miga, con el fin de conformar una mayor estructura de porosidad aduciendo a una excelente calidad del pan.

Burešová *et al.* (2017) destacaron un excelente desarrollo de poros mediante la utilización de harina de quinua (pseudocereal) y garbanzo (leguminosa) en panes de molde a base de arroz. Los autores plantean que la formación de poros se encuentra estrechamente relacionada con las propiedades mecánicas de la masa, es decir, asociado directamente a las propiedades en las paredes del gas formado, el cual se desarrolla durante el amasado y es influenciado por las características de la red almidón-proteína.

Arp *et al* (2018), reportaron valores de *void fraction* de 36 % para panes de trigo, los cuales fueron muy cercanos a lo reportado en la presente investigación sobre todo en los panes de molde en su máxima sustitución de 20 % (F1 y F5); además, los autores señalan que este análisis es muy útil para evaluar el desempeño del proceso fermentativo y el efecto de incorporar diferentes ingredientes a las formulaciones, ya que sus efectos se verían reflejados en la distribución, tamaño, y forma de los poros.

La Figura 15 muestra el gráfico obtenido de la característica *void fraction* a diferentes porcentajes de harinas (trigo, quinua y tarwi).

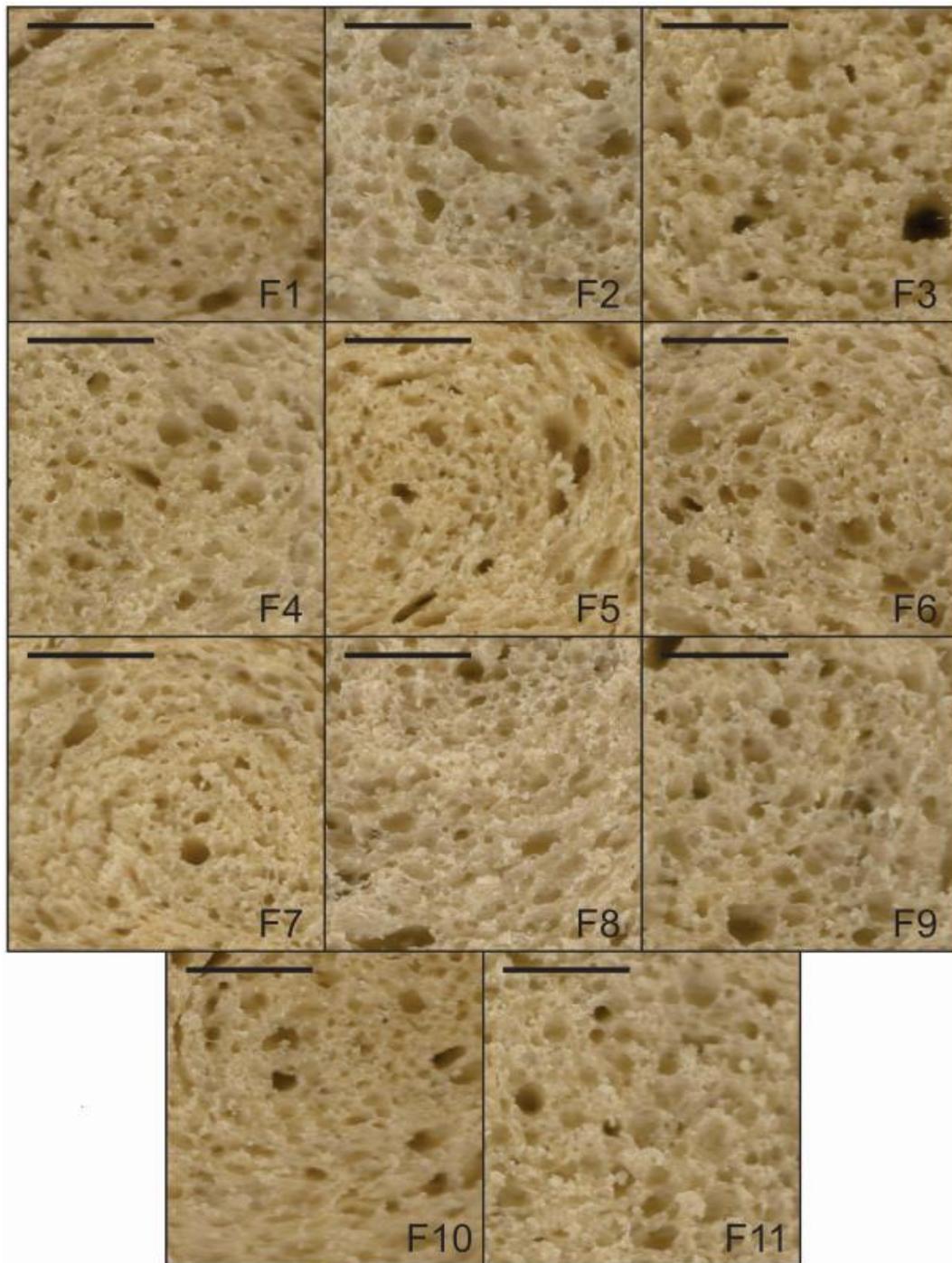


**Figura 15: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) sobre el *void fraction***

La Figura 15 se observa que no existe un efecto notorio de las harinas sucedáneas en relación a la formulación control, es por ello que las zonas de colores no presentan variaciones significantes en el triángulo presentado, sin embargo, un pequeño contraste a celeste es detectado en el punto C que corresponden a panes sustituidos con 20 % de tarwi. Este comportamiento puede estar relacionado con la interacción de proteínas de trigo y tarwi que generan una pared de alveolos rígida que no permite la normalidad y homogeneidad de crecimiento de alveolos, por lo tanto, los valores de *void fraction* disminuyen.

Los valores ligeramente decrecientes de *void fraction*, pudo haber ocasionado valores de volúmenes específicos bajos en formulaciones con mayor contenido de harina de tarwi. Por ende, el volumen específico del pan estuvo directamente relacionado con los valores de *void fraction* en relación a formulaciones con mayor proporción de harina de tarwi respecto al control (100% trigo).

Para visualizar mejor la porosidad de los panes sustituidos y el pan control (F2), la Figura 16 muestra las imágenes del alveolado de las once formulaciones:



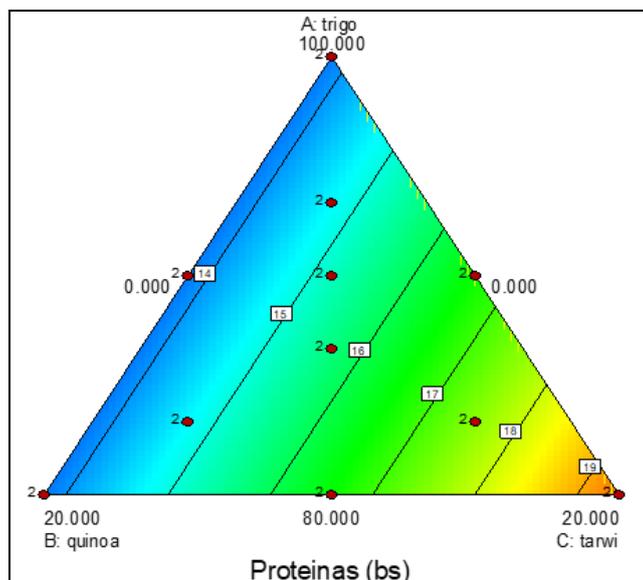
**Figura 16: Imágenes del alveolado de la miga de pan de las 11 formulaciones del pan sustituido elaborado mediante la variación de harina de trigo (HT), harina de quinua (HQ) y harina de tarwi (HW). (Barras de escala = 1 cm)**

Se puede observar que la característica de *void fraction* no presenta grandes diferencias entre los panes sustituidos con harina de quinua y tarwi respecto al pan control, a excepción de F5 que resultó inferior significativamente, con 33.29% frente a 44.84% del control, es decir, una máxima sustitución con harina de tarwi (F5) en panes, afectó la fracción de alveolos desarrollados (Figura 16). Sin embargo, este efecto no se distinguió notablemente en la Figura 15 en todas las formulaciones, por lo que en el gráfico de contorno no presentó grandes contrastes de colores entre azul y rojo, sino una uniformidad con tendencia a verde.

En ese sentido, los panes sustituidos y el control, se desarrollaron con similares alveolos (fracción hueca), siendo ello predicho por análisis reológicos previos, ya que presentaron buena calidad del almidón, sobre todo en formulaciones con mayor contenido de quinua (F1 y F8). Edel y Rosell (2007) destacan que utilizar harina de trigo en panes es trascendente para obtener productos aireados después del horneado, debido a las proteínas presentes y su capacidad de formar gluten, factores que conllevan a un alveolado fino y regular en el pan.

### c. Efecto de las harinas en el contenido de proteínas

La Figura 17 muestra los gráficos de contorno bidimensional del efecto de las harinas sobre el contenido proteico (base seca).



**Figura 17:** Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) sobre el contenido proteico

El efecto de los porcentajes de harinas (trigo, quinua y tarwi) describe una superficie de tipo lineal (Figura 17), observándose que a medida que se realice una mayor sustitución con harina de tarwi (C), el contenido proteico se incrementa considerablemente, en lugar de utilizar 100 % de trigo (F2) o sustitución con 10 y 20 % de quinua (F1 y F8); por otro lado, F1, F2 y F11 no presentan diferencias significativas entre ellas (Tabla 16).

En otras palabras, el efecto de la harina de tarwi (C), según el gráfico de contorno, manifiesta una tendencia de aumento de los valores de proteínas, por ello, afecta positivamente sus valores, mientras que la harina de quinua y trigo (B y C), produce un efecto negativo en las proteínas, ya que disminuye sus valores en proporciones similares.

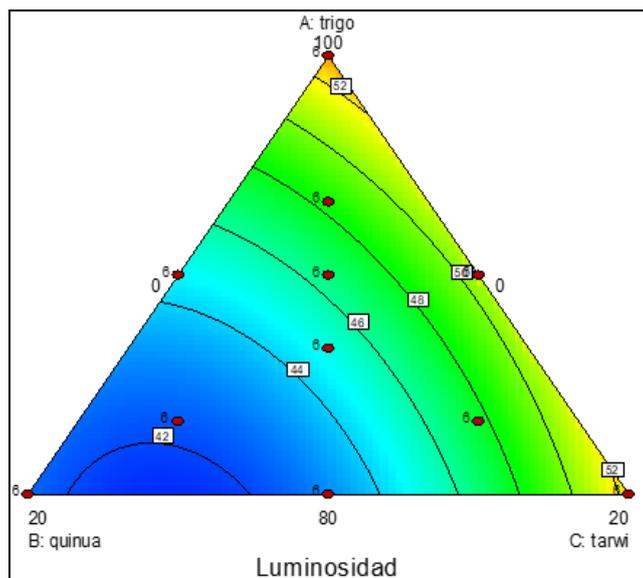
La Tabla 16 muestra que la formulación con mayor enriquecimiento proteico es el pan F5, seguido del pan F7, con valores de 20.12 y 17.83 % de proteínas (b.s), esto es debido a su elevada composición de harina de tarwi (20 y 13.33 %) en la sustitución, el cual es principal fuente de proteína, incluso conocido como superalimento (Repo-Carrasco y Solorzano, 2020).

De la misma forma, Erben y Osella (2017) afirmaron que un pan con un contenido proteico mayor a 19 %, es considerado un alimento rico en proteínas, por lo que podríamos denominar a los panes de la formulación F5, un alimento rico en proteína ya que presentó un valor de 20.12 % de proteínas.

En resumen, la cantidad y calidad de proteínas presentes en un pan de molde con adición de harinas de impacto nutricional generan un beneficio para la salud de los consumidores siendo positivo sobre la calidad de este, este efecto fue corroborado con estudios de Villarino *et al.*, (2015), quienes utilizaron harina de lupino en panes de trigo con el fin de mejorar el contenido proteico de este.

#### **d. Efecto de las harinas sobre la luminosidad de la corteza**

La Figura 18 presenta los gráficos correspondientes al efecto de las harinas (trigo, quinua y tarwi) sobre la luminosidad de la corteza.



**Figura 18: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) sobre la luminosidad de la corteza del pan**

El gráfico anteriormente presentado (Figura 18), muestra líneas con cierta curvatura porque el modelo aceptado pertenece al de tipo cuadrático, dado que se ajusta mejor para exponer el efecto de las harinas sucedáneas (B y C) y el trigo (A) sobre la luminosidad de la corteza destacándose una predominancia de color azul propios de las zonas con mayor sustitución con quinua (10-20 %), mientras que sustituciones con tarwi, la diferencia es casi imperceptible, incluso con ligera similitud al control con máximos porcentajes utilizados (F2 y F5).

Consecuentemente, según la Tabla 16, los resultados de luminosidad ( $L^*$ ) de la corteza presentaron una caída progresiva a medida que la sustitución de quinua aumentaba desde 5% hasta 20%; siendo notablemente influyente en las mezclas con trigo, incluso si estaban sustituidas con tarwi al 3-10 % (F3, F6, F10 y F11). Peña (2020) también verifica una disminución trascendente sustituyendo con harina de quinua al 20% respecto al control de 66.61 a 44.40 sobre el valor de luminosidad, además, menciona que, una mayor cantidad de azúcares reductores en la quinua durante la reacción de Maillard en el horneado que acrecienta lo oscuro de la corteza. Por otro lado, el reemplazo con harina de tarwi (F4 y F5) y la formulación control (F2) no presentaron diferencias significativas de  $L^*$ , cuyos valores estuvieron en el rango de 52.45 – 53.59; estos resultados fueron ligeramente superiores a los reportado por Rosell *et al.*, (2009), de 49.3 de luminosidad en panes sustituidos con harina de tarwi al

12.5%. Fu *et al.* (2018) sostiene que un pan aceptable debe estar en el rango entre 54-62 de luminosidad, por lo que los panes con mayor sustitución con tarwi y el control fueron los más cercanos a dicho rango.

#### 4.4.2. ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA Y ESTABILIDAD DEL PAN

En la Tabla 19 se observan los resultados obtenidos de la curva de análisis de perfil de textura (TPA) y el valor de *setback*, el cual representa la estabilidad del producto final para las once formulaciones de pan de molde.

**Tabla 19: Propiedades texturales y estabilidad del pan sustituido**

Fn	Análisis de perfil de textura y estabilidad del pan				
	Dureza (N)	Cohesividad	Elasticidad	Masticabilidad (N)	Setback (N.m)
F1	4.54 <sup>bc</sup> (0.16)	0,47 <sup>ab</sup> (0.02)	0,92 <sup>c</sup> (0.01)	1.66 <sup>b</sup> (0.04)	0.65 <sup>ab</sup> (0.01)
F2	3.24 <sup>a</sup> (0.14)	0.55 <sup>d</sup> (0.01)	0.90 <sup>ab</sup> (0.00)	1.38 <sup>a</sup> (0.13)	0.87 <sup>f</sup> (0.02)
F3	4.19 <sup>b</sup> (0.02)	0.49 <sup>abcd</sup> (0.05)	0.91 <sup>bc</sup> (0.01)	1.77 <sup>bc</sup> (0.16)	0.76 <sup>cde</sup> (0.02)
F4	4.51 <sup>bc</sup> (0.18)	0.49 <sup>abc</sup> (0.01)	0.89 <sup>a</sup> (0.01)	1.96 <sup>bcd</sup> (0.06)	0.83 <sup>def</sup> (0.03)
F5	5.99 <sup>d</sup> (0.62)	0.46 <sup>a</sup> (0.02)	0.90 <sup>abc</sup> (0.01)	2.33 <sup>e</sup> (0.19)	0.77 <sup>cde</sup> (0.02)
F6	4.07 <sup>b</sup> (0.50)	0.50 <sup>abcd</sup> (0.01)	0.92 <sup>c</sup> (0.01)	1.68 <sup>b</sup> (0.05)	0.60 <sup>a</sup> (0.00)
F7	5.44 <sup>cd</sup> (0.34)	0.48 <sup>ab</sup> (0.02)	0.90 <sup>abc</sup> (0.01)	2.18 <sup>de</sup> (0.13)	0.79 <sup>def</sup> (0.00)
F8	2.83 <sup>a</sup> (0.19)	0.52 <sup>bcd</sup> (0.02)	0.91 <sup>bc</sup> (0.00)	1.37 <sup>a</sup> (0.06)	0.74 <sup>bcd</sup> (0.04)
F9	2.95 <sup>a</sup> (0.19)	0.53 <sup>cd</sup> (0.01)	0.92 <sup>bc</sup> (0.01)	1.40 <sup>a</sup> (0.11)	0.85 <sup>ef</sup> (0.00)
F10	4.62 <sup>bc</sup> (0.40)	0.47 <sup>ab</sup> (0.01)	0.91 <sup>bc</sup> (0.01)	2.04 <sup>cde</sup> (0.19)	0.68 <sup>abc</sup> (0.05)
F11	4.61 <sup>bc</sup> (0.15)	0.48 <sup>abc</sup> (0.02)	0.90 <sup>abc</sup> (0.01)	1.95 <sup>bcd</sup> (0.15)	0.77 <sup>cdef</sup> (0.00)

(1) Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis) (n=3); las letras diferentes dentro de la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) por la prueba Tukey.

En la Tabla 19, se puede apreciar que tanto las propiedades texturales (dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad) como el *setback* evidencian diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las formulaciones con diferentes porcentajes de harina de trigo, quinua y tarwi, siendo este último, el más influyente en incrementar los valores de dureza y masticabilidad, por consiguiente, la cohesividad disminuyó su valor en las formulaciones con presencia mayoritaria de harina de tarwi (F5 y F7). Los cálculos de *setback*, que se relaciona con el endurecimiento o envejecimiento del pan del pan registran descenso significativo a medida que se adicionan harinas sucedáneas, en especial con la harina de quinua, que al sustituir desde un 10% presentaron valores entre 0.60 y 0.74 Nm siendo inferiores al control, en el caso de mezclas al mismo nivel de sustitución de quinua y tarwi (F10); de 0.68 Nm y con la adición de harina de tarwi por si sola (F5), de 0.77 Nm.

Asimismo, la adición de quinua con 10 % de reemplazo (F8) y mezclas de quinua-tarwi al 3.33% de cada una (F9), no afecta significativamente el valor de dureza con respecto al control, siendo valores entre 2.83-3.24 N, dicho rango es cercano a lo reportado por Gostin (2019), de 2.40 N, quien sustituyó trigo con harina de quinua al 10% en panes de molde, medidos luego de 24 horas, cercanas al transcurso que fueron medidos en la presente investigación, de 18 horas a partir del fin del horneado.

En la Tabla 20, se observa el modelo predictivo que detalla el efecto de las harinas para cada variable respuesta, representadas como propiedades texturales del pan de molde y su estabilidad, que describieron mejores ecuaciones del modelo.

**Tabla 20: Modelo predictivo sobre las propiedades texturales y estabilidad del pan**

<b>Respuestas</b>	<b>Modelos predictivos</b>
Dureza (N)	$Y_5 = 2.87A + 8.70B + 18.61C$
Cohesividad	$Y_6 = 0.54A + 0.23B + 0.11C$
Elasticidad	$Y_7 = 0.90A + 0.99B + 0.89C$
Masticabilidad (N)	$Y_8 = 1.36A + 2.70B + 6.71C$
<i>Setback</i>	$Y_9 = 0.88A - 0.53B + 0.36C$

A: Harina de trigo B: Harina de quinua C: Harina de tarwi

Según la Tabla 20, los modelos predictivos con mejor ajuste son lineales, donde la interacción entre harina de trigo, quinua y tarwi causa un efecto creciente tanto para dureza, cohesividad y elasticidad en panes, siendo más notorio el aumento de los valores de la dureza del pan en presencia de las harinas sucedáneas como tarwi y quinua, debido a los altos valores de coeficientes los cuales acompañan a cada harina (C y B), respectivamente.

Así pues, las propiedades texturales descritas en la Tabla 20 tienden a aumentar a medida que se utilicen las harinas de quinua y tarwi, por consiguiente, el comportamiento de la variable respuesta presentada podría predecirse en base a estas ecuaciones ya mencionadas, donde las variables dureza y masticabilidad son las más predominantes en aumentar en presencia de harinas sucedáneas.

Se puede observar que la ecuación  $Y_1$ , según el coeficiente negativo que acompaña a la harina de quinua (B), genera un efecto decreciente más importante que el efecto creciente que se genera con la presencia de harina de tarwi, no obstante, el aumento de *setback* por presencia de harina de trigo es más notable que la harina de quinua y tarwi, debido a su mayor valor de coeficiente que lo acompaña (A).

Con la finalidad de explicar de manera gráfica las ecuaciones mencionadas, se presentan los gráficos tridimensionales de cada propiedad textural mencionada, así como también el *setback*, donde las formulaciones figuran como puntos rojos en las diferentes zonas coloreadas del triángulo en tres dimensiones (Ver Anexo 2 y Anexo 3).

A modo de resumen, en la Tabla 21 se exponen los datos de análisis de varianza (ANOVA) que muestra el F-test y el p-valor (entre paréntesis, Prob >F) del modelo completo, términos de mezcla lineal, términos de interacción y falta de ajuste de modelos polinomiales ajustados sobre las propiedades texturales del pan. Además, se muestran, las medidas de bondad de ajuste que incluyen coeficiente de variación (CV), suma de cuadrados del error residual predicho (PRESS), coeficiente de determinación ( $R^2$ ),  $R^2$  ajustado ( $R^2$  adj),  $R^2$  predicho ( $R^2$  pred) y precisión adecuada (AdPrec).

**Tabla 21: Resumen estadístico de análisis de varianza (ANOVA) y bondad de ajuste sobre las propiedades texturales del pan de molde sustituido y su estabilidad**

Variables depen- dientes	ANOVA						Calidad de ajuste					
	Modelo	Términos lineales de mezcla	AB	BC	AC	Lack-of-fit	CV (%)	PRESS	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> adj	R <sup>2</sup> pred	Ad-Prec
Dureza (N)	44.30 (<0.0001)	44.30 (<0.0001)	-	-	-	7.23 (0.0001)	11.97	9.9x10 <sup>4</sup>	0.7471	0.7302	0.6907	20.43
Cohesividad	24.25 (<0.0001)	24.25(<0.0001)	-	-	-	1.15 (0.3567)	4.57	0.025	0.5607	0.5376	0.4293	12.09
Elasticidad	16.68 (<0.0001)	16.68 (<0.0001)	-	-	-	2.82 (0.0167)	0.76	2.39 x10 <sup>-3</sup>	0.4676	0.4395	0.3013	11.35
Masticabilidad (N)	70.62 (<0.0001)	70.62 (<0.0001)	-	-	-	4.17 (0.0016)	9.12	1.35	0.7880	0.7768	0.7191	19.59
Setback (N.m)	43.11 (<0.0001)	43.11(<0.0001)	-	-	-	4.27 (0.0147)	5.02	0.04	0.82	0.8000	0.75	20.15

(1) F-test y el p-valor (entre paréntesis, Prob >F) del modelo completo, términos de mezcla lineal, términos de interacción y falta de ajuste de modelos polinomiales ajustados; ; datos de medidas de bondad de ajuste que incluyen coeficiente de variación (CV), suma de cuadrados del error residual predicho (PRESS), coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), R<sup>2</sup> ajustado (R<sup>2</sup> adj), R<sup>2</sup> predicho (R<sup>2</sup> pred) y precisión adecuada (AdPrec). “-” indica términos de no significancia (p>0.05).

Según las pruebas ANOVA, en la variable dureza, el valor p de la prueba  $F < 0,0001$  fue significativo para evaluar el efecto de las harinas sobre esta variable importante en panes, además, los valores p para los términos de mezcla lineal fueron también significativos. Se observó los mismos resultados para las demás propiedades de textura como: cohesividad, elasticidad y masticabilidad.

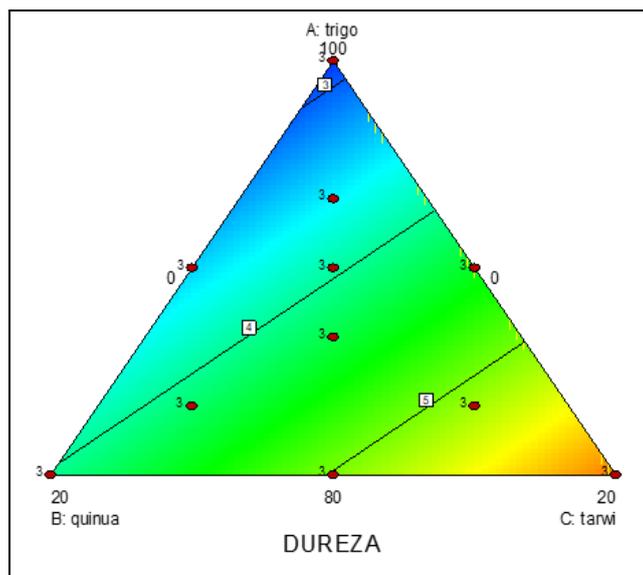
En relación al CV (%), el menor valor presentado fue para la elasticidad (0.76), mientras que el máximo valor fue para la variable dureza (11.97), siendo todas las variables descritas menores a 10%, a excepción de la dureza, deduciendo que son aceptables en su mayoría para el método elegido.

El modelo para la dureza presentó un coeficiente de determinación o  $R^2$ , de 0.75,  $R^2$  ajustado de 0.73 y  $R^2$  predicho, de 0.69 que validaron el modelo lineal elegido, mientras que para cohesividad presentó 0.56, 0.54, 0.43, respectivamente, siendo satisfactorios por lo que los modelos fueron aceptados. Por el contrario, aun siendo significativo el valor de p ( $<0.0001$ ), tanto el modelo y términos lineales de mezcla de la variable elasticidad, se obtuvieron valores bajos de  $R^2$  (0.47),  $R^2$  ajustado (0.44) y  $R^2$  predicho (0.30), pero aceptable para el modelo, ya que los modelos superiores como cuadráticos, cúbicos o cuárticos, son difíciles de explicar en la realidad.

Acercas del *setback*, el modelo y términos lineales de mezcla, valor de p ( $F < 0.0001$ ), fueron significativos para describir el efecto de las harinas. El  $R^2$  (0.82) fue cercano a 1, esta misma tendencia se observó en  $R^2$  adj y  $R^2$  pred con 0.80 y 0.75, respectivamente. En cuanto al coeficiente de variación mostró un valor de 5.02%, mientras que PRESS tuvo un valor de 0.04 y el AdPrec, al ser superior a 4, representó un modelo que se puede discriminar correctamente entre formulaciones (Tabla 21).

#### **a. Efecto de las harinas sobre la dureza del pan**

La Figura 19 muestra los gráficos de contorno bidimensional del efecto de la harina de trigo, harina de quinua y harina de tarwi sobre la dureza del pan.



**Figura 19: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) sobre la dureza del pan**

La superficie de respuesta presentada (Figura 19) indica que la dureza es afectada negativamente en presencia de harina de tarwi (C), sin embargo, con interacciones entre B y C, utilizando hasta un 13.33 % de quinua y 6.67 % de tarwi en mezcla, el efecto de estas harinas sucedáneas respecto al control (sin harinas B y C) es casi imperceptible por lo que poseen valores aceptables de dureza a esos niveles máximos de sustitución.

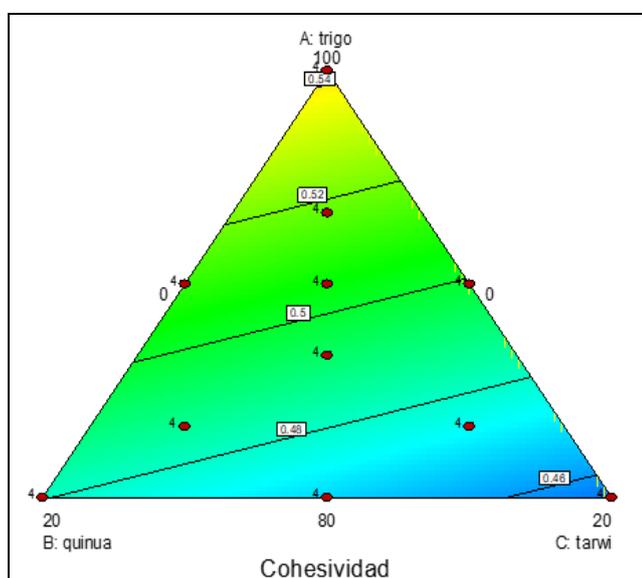
En los estudios de Peña (2020), señala una relación directamente proporcional entre la dureza y el grado de sustitución, ello se puede corroborar con los resultados presentados sobre las formulaciones que tuvieron sustituciones de mezclas de quinua-tarwi entre 10-20% fueron incrementando los valores de dureza, siendo más notorio al utilizar solo tarwi (F5) con una dureza de 5.99 N. Asimismo, Rosell *et al.* (2009) quienes elaboraron panes de molde sustituyendo con tarwi al 12.5 y 25 %, registrando valores entre 9.94-23.78N de dureza. Estos valores son mayores a los obtenidos debido a que los autores no utilizaron grasas añadidas en la formulación, mientras que los panes de la presente investigación fueron elaborados con adición de aceite, el cual les proporciona más suavidad a los panes de molde, de esta manera, una menor dureza en las migas.

Teniendo en cuenta a Rosell y Santos (2010), mencionan que la presencia de fibras soluble e insolubles genera una mayor dureza de la miga además de la falta de gluten necesario en

la masa, asimismo, se sabe que los panes sustituidos con mezclas de harina de quinua y tarwi contienen en su composición mayor contenido de estas fibras, donde la primera es superada en contenido por la harina de tarwi. Por consiguiente, la dureza en el pan aumentó principalmente por la sustitución mayoritaria con harina de tarwi (F5 y F7), esta tendencia también se evidenció previamente en el análisis de la dureza de las masas, donde se encontraron que las mismas formulaciones aumentaron considerablemente el valor de dicha característica.

**b. Efecto de las harinas en la cohesividad del pan**

En la Figura 20 se observa el grafico de contorno bidimensional que muestra el efecto de las harinas A, B y C (trigo, quinua y tarwi).



**Figura 20: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) en la cohesividad del pan**

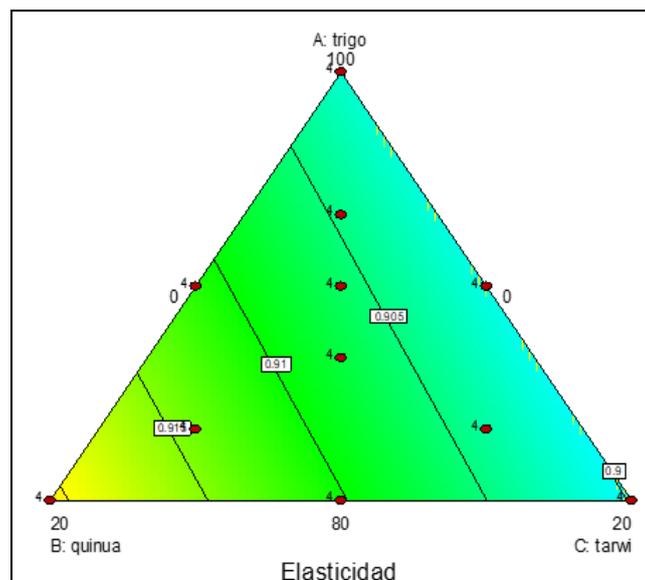
En lo que respecta a la cohesividad, como era de esperarse, el máximo valor fue obtenido en el pan control, no obstante, sustituir harina de quinua hasta un 13.33 %, aun siendo mezclada con tarwi, no difiere significativamente con el control, resultando entre 0.49-0.53 (Figura 20), cuyos valores fueron inferiores a lo obtenido por Gostin (2019), de 0.74 y 0.76 en panes de molde con 100 % de trigo y con reemplazo de quinua al 10 %, respectivamente y sin diferencias entre ellas. Por el contrario, al incrementar el reemplazo con solo tarwi (F4 y F5) y aún con mezclas con quinua (F7 y F10), la cohesividad obtuvo valores entre 0.46-0.49,

disminuyendo significativamente respecto al control. Se observaron tendencias similares con Rosell et al. (2009), quienes reportaron caídas de cohesividad al aumentar la sustitución con tarwi (*Lupinus mutabilis*).

De esta manera, la cohesividad del pan evidencia similar tendencia en la cohesividad de las masas, en el cual la formulación F5, fue la que obtuvo una caída notable en los valores de cohesividad, tanto de las masas como en el producto final.

### c. Efecto de las harinas en la elasticidad del pan

La siguiente Figura 21 muestra el grafico de contorno bidimensional del efecto de las harinas sobre la elasticidad del pan:



**Figura 21: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) sobre la elasticidad del pan**

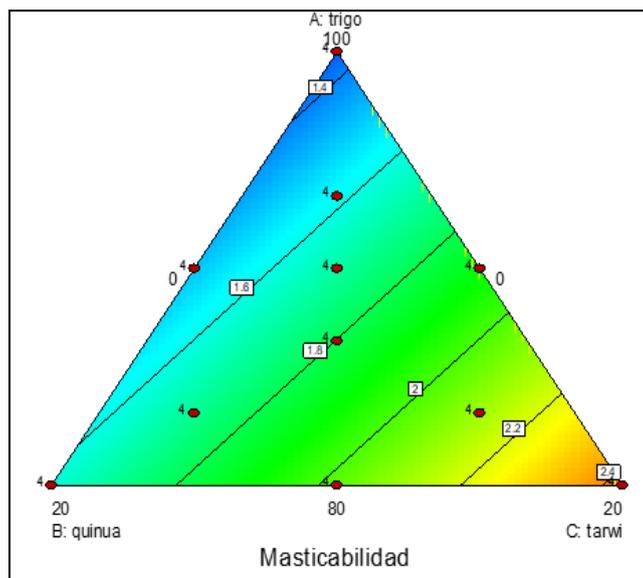
Acerca de la elasticidad, no se observaron grandes diferencias entre las once formulaciones, de allí que la inclusión de harinas sucedáneas no afecta significativamente este valor en lugar de utilizar 100 % de trigo (Figura 21). De modo similar, se observó en estudios de Vasquez *et al.* (2017), quienes no encontraron diferencias significativas en esta característica con sustituciones a 2.5-10 % utilizando leguminosas y cereales (avena, sorjo, y maíz) en panes de

molde, de ello se desprende que, se puede utilizar harinas a mayores porcentajes de sustitución (10-20 %) sin afectar la elasticidad del producto.

La tendencia señalada anteriormente, acerca de la elasticidad en panes sustituidos, también se encontró en la elasticidad de las masas sustituidas, por lo que podría existir una relación directa sobre los resultados entre las formulaciones en masas, así como; las de panes, respecto a la variable elasticidad.

#### d. Efecto de las harinas sobre la masticabilidad del pan

En la Figura 22 se observa los gráficos de contorno bidimensional para la masticabilidad del pan:



**Figura 22: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) en la masticabilidad**

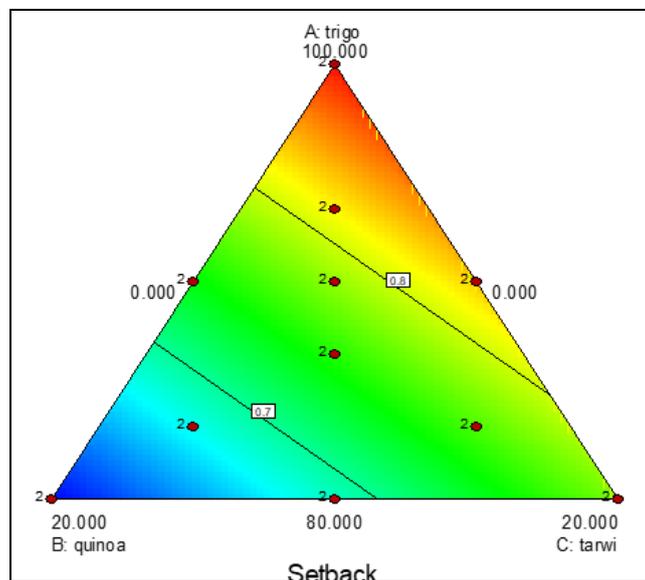
Según los resultados (Tabla 19), el pan control al igual que los panes F8 y F9 registra menores valores entre 1.37-1.40 N sin diferencias significativas entre ellas, por consiguiente, a menor sustitución de harinas sucedáneas, es casi imperceptible esta importante característica, mientras que mezclas que contengan mayor sustitución (superior a 10 %), particularmente sobre el tarwi, presentaron mayor masticabilidad, siendo el máximo valor de 2.33 N,

que corresponde a la formulación F5. No obstante, otros estudios encontraron valores superiores e iguales a 8.08 N al sustituir con harina de sorjo en panes de molde (Vasquez *et al.*, 2017). En relación a valores esperados en masticabilidad de los panes, se desea que el su valor no sea elevado, debido a que ocasionaría mayor tiempo de deglución para el consumidor de pan, lo cual es sensorialmente inaceptable (Huánuco, 2020).

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, era de esperarse que en los gráficos de contorno (Figura 22), los valores de masticabilidad aumentarían conforme se adicione porcentajes mayoritarios de harinas sucedáneas (tono naranja-rojo) mientras disminuye el porcentaje de harina trigo (tono azul). Este efecto negativo de la masticabilidad con el porcentaje de sustitución con harinas sucedáneas también fue reportado por Erben y Osella (2017), quienes sustituyeron panes, atribuyendo que la variabilidad en la composición del pan y el volumen específico que presentan influyen en esta característica.

**e. Efecto de las harinas sobre el setback**

La Figura 23, muestra el gráfico de contorno bidimensional de la interacción entre las harinas sobre el setback resultante.



**Figura 23: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de la harina de trigo (A), harina de quinua (B) y harina de tarwi (C) sobre el setback de las mezclas de harinas**

La Figura 23 mostrada, evidencia una disminución de valores de *setback* a mayores sustituciones con harinas sucedáneas, siendo mas notorio en presencia mayoritaria de harina de quinua, mientras que, la presencia de harina de trigo (zona azul del triángulo) aumentó los valores de dicho parámetro.

La tendencia mencionada en el párrafo anterior, se observó también en estudios de Collar *et al.* (2007) que al utilizar harinas integrales en lugar de harinas de trigo al 100% manifestó descensos de valores de *setback* desde 0.46 Nm a 0.23 Nm.

La etapa señalada corresponde al enfriamiento a 50°C, que según Dubat *et al.*, (2013), está directamente relacionada a una retrogradación del almidón producido por una gelificación de este, en el que las cadenas de amilosa que se lixiviaron de los gránulos de almidón durante el calentamiento, comenzarían a recrystalizar, por el contrario, Bonet *et al.* (2006) reporta, en estudios de mezclas sustituidas con harina de soja, un efecto en el valor de *setback*, que ocasiona un aumento de su valor respecto al control, debido a los lípidos presentes en la soja, alrededor del 22 % (similar al tarwi), afectaron la retrogradación de amilosa.

Cabe señalar, que los lípidos presentes en una matriz alimentaria, como los ácidos grasos, comparten grupos hidrófilos e hidrófobos, este último grupo puede trasladar a los lípidos cerca de las cavidades hidrofóbicas internas de cadenas helicoidales de almidón o amilopectina y amilosa, por lo que al formarse una cadena resistente de complejos lípido-almidón evita que se dañen frente a un calentamiento (Chang *et al.*, 2021). En ese sentido, existe un proceso lento de retrogradación en panificados con alto contenido de grasas, en lugar de alimentos con bajo contenido de ácidos grasos.

En otras palabras, el gráfico muestra que existe un efecto positivo de la harina de quinua sobre el *setback* ya que expresa predominancia del color azul en esa zona de sustitución, mientras que, porcentajes altos de trigo expresa valores altos de esta característica, de manera que describen una disminución de *setback*, a medida que se adiciona harina de quinua y menos notorio con harina de tarwi. que representan tonos de colores desde azul, verde, amarillo, naranja y rojo (menor a mayor).

Chang *et al.* (2021) señala que la retrogradación del almidón está relacionada con la estructura y contenido de amilosa/amilopectina, ya que la amilosa tiene una mejor capacidad de reordenamiento que la amilopectina durante las primeras horas, mientras que, a largo plazo, la reordenación corresponde a la amilopectina; adicionalmente, son afectadas por el tamaño molecular de estos componentes.

En resumen, los valores bajos de diferencia de consistencias (*setback*) que expresaron menor retrogradación del almidón fueron causadas por presencia de harina de quinua, perteneciente a la variedad Blanca de Junín; de acuerdo a Maza (2020) esta contiene menor proporción de amilosa (20.7 %) y mayor proporción de amilopectina (79.3 %), además que el tamaño de sus gránulos es pequeño, en comparación a la mayoría de los almidones de otros orígenes botánicos.

Como complemento, la retrogradación del almidón también es detenida en presencia de proteínas, específicamente en el tipo de albúmina, seguida de globulina y gliadina, debido a la alta absorción de agua que posee, incluso superando la cantidad de almidón que posee, por lo que diluye la concentración del almidón reduciendo la posibilidad de entrecruzamiento de cadenas de almidón para su retrogradación (Chang *et al.*, 2021). Estos componentes proteicos están presentes principalmente en la harina de quinua y tarwi por lo que habría ocasionado un retardamiento de la retrogradación del almidón, por consiguiente, disminución en el valor del *setback*; siendo un efecto positivo, ya que se espera que al ser menor el valor, la estabilidad como producto final aumenta y los panes tienden a un mayor tiempo de vida útil.

#### **4.5. OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE LAS VARIABLES RESPUESTA EN EL PAN DE MOLDE SUSTITUIDO**

La calidad del pan de molde puede ser establecido por el productor o consumidor, el volumen específico es determinante en la aceptabilidad del consumidor, es decir, panes voluminosos son más atractivos en lugar de los de menor volumen (Encina *et al.*, 2019), es por ello se maximizó esta característica (ml/g).

Asimismo, estudios de Wang *et al.* (2015) refieren que la calidad del pan se relaciona con la textura, forma y tiempo de vida útil del producto, este último expresado en el parámetro *setback*, debido a su relación con la estabilidad de panes como producto final.

De acuerdo a la dureza, el estar relacionada inversamente con la suavidad de la miga, su minimización de esta, implica una mayor frescura, deseada por los consumidores, el cual, también fue verificado por estudios de optimización según diseño de mezclas de Encina *et al.* (2019).

En relación al *setback*, Dubat *et al.* (2013), relaciona este parámetro como efecto contrario a la estabilidad del producto después del enfriado por lo que, un menor valor de este, desarrolla un mayor tiempo de vida útil del producto, además que Wang *et al.* (2015) señala que dicho parámetro establece una buena calidad del pan; de esta manera, se minimizó el valor de *setback*.

Respecto al contenido proteico de un producto panificado, es una de las características más deseadas por los consumidores, teniendo en cuenta la tendencia actual por el consumo de productos saludables, Repo y Solorsano (2020), sugieren que es necesario ingerir en alimentos que se consumen diario, como es el caso del pan, una cantidad de proteínas deseada y de buena calidad; es por ello que este parámetro importante se maximizó dentro de la optimización.

De acuerdo a lo planteado anteriormente, se realizó la optimización simultánea de cuatro variables respuesta, a partir de una minimización de las propiedades texturales (dureza y *setback*) y una maximización de las propiedades fisicoquímicas (volumen y proteínas) con la finalidad de obtener un producto final con excelente calidad en términos de textura, apariencia y tiempo de vida útil, dichas características fueron utilizadas en estudios de Wang cuyo enfoque se desarrolló en función a la deseabilidad.

La formulación óptima fue obtenida mediante una optimización simultánea de las variables respuestas en el pan de molde sustituido presentadas a continuación y sus respectivas condiciones en la Tabla 22:

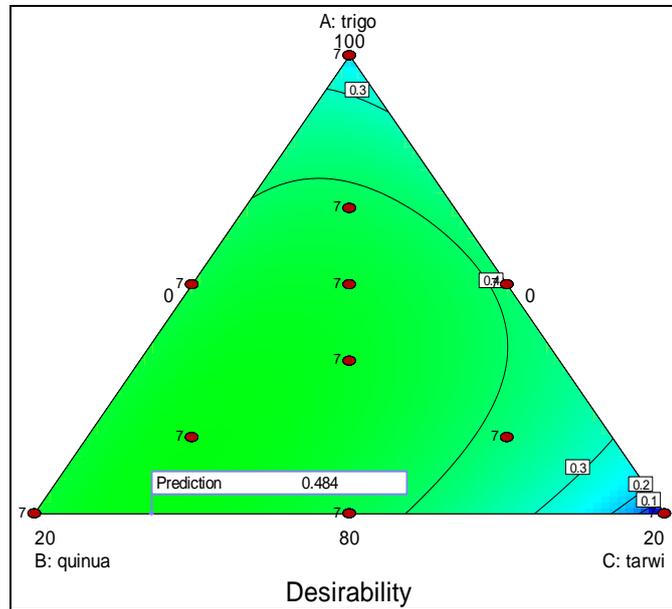
**Tabla 22: Condiciones aplicadas en la optimización de las variables respuesta en el pan de molde sustituido**

Variable	Objetivo de la optimización	Importancia	Formulación óptima
<b>Independiente</b>			
A: H. trigo	En el rango	3	80%
B: H. quinua	En el rango	3	16.29%
C: H. tarwi	En el rango	3	3.71%
<b>Dependiente</b>			
Volumen específico (ml/g)	Maximización	3	2.195
Dureza (N)	Minimización	3	4.402
<i>Setback</i>	Minimización	3	0.631
Proteínas (%)	Maximización	3	14.836
Deseabilidad			0.484

Según la Tabla 22, las variables dependientes (volumen específico, dureza, *setback*, proteínas) y variables independientes (harina de trigo, harina de quinua y harina de tarwi), desarrollaron una importancia máxima con un valor de tres para cada una, respectivamente.

De acuerdo a los objetivos de optimización presentados y la importancia planteada, el programa *Design Expert*® obtuvo un total de 3 óptimos y sus respectivos valores estimados de la variable respuesta (Ver Anexo 4), las cuales al no diferir significativamente en el valor de deseabilidad se eligió la que mayor sustitución poseía con ambas harinas sucedáneas, la cual fue a base de 80 % de trigo y un 20 % de harinas sucedáneas, donde un 16.20 % concierne a la harina de quinua y 3.71 %; a la de tarwi, con una deseabilidad resultante de 0.484, cuyo valor se determinó según función de deseabilidad, el cual debe acercarse al valor de 1, aproximadamente.

En la siguiente Figura 24, muestra el gráfico obtenido de la deseabilidad de forma tridimensional que predijo la formulación óptima según la función de deseabilidad (*desirability*):



**Figura 24: Gráfico de deseabilidad tridimensional de la formulación óptima predicha determinadas por análisis de función de deseabilidad**

Cabe señalar que, la formulación presentada no pertenece a ninguna de las once formulaciones del diseño, por lo tanto, se elaboró a iguales condiciones que las demás formulaciones, por lo que previamente se sometió a un análisis reológico a las mezclas de harinas de dicha formulación, con el fin de ultimar parámetros de proceso adecuado (hidratación y tiempos de amasado), los cuales se detallan en el Anexo 5. Consecuentemente, se procedió a utilizar el mismo procedimiento de elaboración de pan de molde que las demás formulaciones (Ver Anexo 6).

#### 4.6. VALIDACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA

Para la validación se determinó previamente los valores de dureza (N), *setback* (N.m), proteínas (%) y volumen específico (ml/g) a la formulación óptima; los cuales se detallan en la Tabla 23:

**Tabla 23: Valores experimentales analizadas a la formulación óptima**

<b>Respuesta</b>	<b>Valor experimental*</b>
Dureza (N)	4.390 ± 0.29
<i>Setback</i> (N.m)	0.679 ± 0.03
Proteínas (%)	14.20 ± 0.02
Volumen específico (ml/g)	2.142 ± 0.03

\*Promedio de 2 repeticiones ± DE

Luego de obtener los valores experimentales de dureza (N), *setback* (N.m), proteínas y volumen específico (ml/g) respectivos, se evalúa con los valores predictivos en el programa *Design Expert* ®. En la Tabla 24, se contrasta los valores predictivos y experimentales promedio admitidos por el modelo:

**Tabla 24: Rangos de validación de las variables respuestas analizadas para la formulación óptima**

<b>Respuesta</b>	<b>Valor predictivo mínimo</b>	<b>Valor experi-mental promedio</b>	<b>Valor predictivo máximo</b>
Dureza (N)	3.750	4.390	5.050
<i>Setback</i> (N.m)	0.579	0.679	0.682
Proteínas (%)	13.889	14.20	15.775
Volumen específico (ml/g)	2.068	2.142	2.322

Se puede observar que los valores obtenidos de las variables respuesta para la validación de la formulación óptima: dureza, *setback*, proteínas y volumen específico, se encuentran dentro del rango establecido por el programa *Design Expert* ®, por lo que evidencia la validación del proceso en relación al análisis estadístico desarrollado (prueba *t-student*), no encontrándose diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre los valores experimentales y los predictivos.

En los estudios de Encina-Zelada *et al.* (2019) acerca de optimización según el diseño de mezclas bajo el desarrollo de panes de molde sin gluten, recomiendan realizar la validación de la formulación óptima desarrollada, siendo necesaria para corroborar su idoneidad en las propiedades evaluadas más importantes.

#### 4.7. CARACTERIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA

La caracterización de la formulación óptima consistió en analizar los nutrientes presentes, como el contenido de proteínas y fibra dietaria, los cuales están asociados con la salud del consumidor, cuya finalidad es obtener una dieta baja en carbohidratos y calorías (Arp *et al.*, 2018). Desde el punto de vista de aceptabilidad del consumidor, se determinó los parámetros de calidad importantes de dicha formulación como: pH, humedad (%), actividad de agua y pérdida por cocción (%). En la siguiente Tabla 25, se detalla los resultados obtenidos de los parámetros analizados en la formulación óptima, dentro de ellos, se encuentra la composición proximal de este producto final, expresada en base seca.

**Tabla 25: Caracterización de la formulación óptima**

<b>Parámetro</b>	<b>Formulación óptima</b>
Carbohidratos totales en base seca (%)	73.42 ± 0.01
Ceniza en base seca (%)	2.25 ± 0.07
Grasas en base seca (%)	10.13 ± 0.04
Proteínas en base seca (%)	14.20 ± 0.04
Fibra dietaria insoluble (%)	15.32 ± 0.09
Fibra dietaria soluble (%)	2.04 ± 0.04
Humedad (%)	35.57 ± 0.03
Actividad de agua	0.97 ± 0.01
pH	5.70 ± 0.04
Perdida por cocción (%)	6.09 ± 0.01

Promedio de 2 repeticiones ± DE.

El contenido de carbohidratos totales de la mejor formulación fue de 73.42 %, superior a lo reportado por De la Cruz (2009); de 50 %, que utilizó en su formulación 13.92 % de quinua y 3.54 % de suero en panes de molde. Sin embargo, ese alto valor abarca la fibra dietaria presente, debido a la sustitución con harinas sucedáneas, las cuales incrementan el valor nutricional del pan, en ese sentido, atenúan los carbohidratos presentes, en lugar de utilizar trigo al 100 % (Arone, 2015).

Dentro de ese parámetro, la fibra dietaria total (17.36 %), incluidas dentro de los carbohidratos totales, presentó un valor elevado, compuesta por fibra insoluble de 15.32 % y soluble; de 2.04 %; los cuales se encuentran cercanos al rango de 9.12-14.99 % en panes sustituidos con harina de quinua y chía (Arone, 2015).

Habría que añadir, acerca del tratamiento térmico que fue sometida la fibra dietaria, durante el horneado, presente principalmente en las harinas sucedáneas, citando a Sarmento (2012), ocurre una ruptura de enlaces glucosídicos de los polisacáridos de la fibra por el calor ocasionando una redistribución de fibra soluble e insoluble, pero también un incremento de este componente debido a la formación de almidón resistente y en leguminosas, particularmente, provoca un incremento de fibra insoluble.

Con respecto, al contenido proteico de la formulación óptima, presentó un valor de 14.20 % (base seca), Arone, (2015) mencionó un incremento de las proteínas en panes sustituidos con harina de quinua (20 % y chia (5 %) de hasta 14.22 %, el cual es similar a la presente investigación.

De la Cruz (2009) detalla que panes sustituidos al 13.92 % con harina de quinua y suero al 3.54 %, mejoran la calidad de proteínas presentes en 9.30 % de proteínas en el pan debido al contenido de aminoácidos presentes en ellas, el cual se sabe que el tarwi también posee en su composición, como complemento de la quinua.

El contenido máximo de cenizas permitido por la NTP 206.004 (2016) es de 4%, el resultado presentado es de 2.25 %, con lo cual cumple con el límite para panes de molde.

Con respecto a la grasa, De la Cruz (2009) reportó 4.12 % para panes con 13.92 % de reemplazo con quinua, un valor inferior a la presente investigación; de 10.13 %, que al tener en su composición harina de tarwi adicionalmente, extiende el contenido de lípidos del producto final.

La humedad presentada de 35.57 %, cumple con lo establecido por la NTP 206.004 (2016); de 40% como máximo para cualquier tipo de pan de molde. Asimismo, Arone (2015) verifica que panes sustituidos con quinua y chíá presentaron valores menores de humedad en el rango de 28.55 – 31.50 %, aduciendo que existe una tendencia de decrecimiento a una mayor sustitución con harina de quinua en panes de molde, debido a su mayor capacidad de absorción de agua de las harinas sucedáneas.

La actividad de agua ( $a_w$ ) del pan obtenido fue de 0.97, cuyo valor se encontró en el rango de 0.94-0.97 de  $a_w$  que reportaron Wang *et al.* (2015) para panes con sustituciones de trigo con harina de quinua; además, los autores sostienen que la  $a_w$  probablemente retrase el deterioro microbiano en alimentos que podrían dar lugar a una vida útil prolongada del producto.

El pH registra un valor de 5.70, ligeramente superior al rango de 5.23-5.61, reportado por De la Cruz (2009) para panes sustituidos hasta 20% con harina de quinua e inferior a lo reportado por Peña (2020), quien indicó un pH de 5.88 en panes con sustitución al 15%, de similar composición a la formulación óptima, además señala que dicho valor de pH es aceptable para evitar la proliferación de mohos y bacterias. Cabe señalar que, el valor de pH puede ser un reflejo de los ácidos generados durante la fermentación (Rosentrater y Ever, 2018).

En relación a la pérdida por cocción, se observa un valor de 6.09%, relacionado a la transformación de masa en pan, ya que existe una evaporación del agua hacia el ambiente y corteza (Peña, 2020). No obstante, el valor de la pérdida de cocción no debe superar al 9% porque sería una causa de sobrecocción (Arone, 2015), cabe agregar que, citando a Chikpah *et al.* (2021), la pérdida por cocción depende del proceso de horneado, por lo que condiciones de elevadas temperaturas y mayor tiempo de cocción conlleva un aumento de esta característica; y a la vez una disminución de la humedad del pan y de la  $a_w$ .

## V. CONCLUSIONES

1. Las propiedades viscoamilográficas y reológicas en las mezclas de harinas y las propiedades texturales en las masas, fueron influenciadas según los porcentajes utilizados de harinas sucedáneas (quinua y tarwi), destacando que, sustituir con porcentajes crecientes de harina de quinua son similares a las formulaciones control; por el contrario, la harina de tarwi presentó un efecto negativo sobre estas propiedades, repercutiendo adversamente en las consistencias deseadas en las masas. Estos parámetros son importantes como predictores del comportamiento durante el desarrollo del pan, manifestando una relación directa con atributos de calidad como el volumen específico, la porosidad y la textura final.
2. La inclusión de porcentajes crecientes de harina de quinua favoreció las características de calidad del pan de molde como volumen, dureza y porosidad, mientras que, sustituir mayores porcentajes de harina de tarwi favoreció la luminosidad de la corteza (color), siendo similar al pan control; no obstante, provocó un efecto negativo sobre el volumen específico, la porosidad y dureza del pan.
3. El diseño de mezclas permitió elegir la mejor formulación obteniendo pan de molde sustituido con 16.29% de quinua y 3.71% de tarwi con un elevado contenido proteico respecto a un pan control, además con valores aceptables de mínima dureza, máximo volumen y mayor estabilidad del pan (*setback*), cuyas características mencionadas atribuyen a una buena calidad del pan. Los valores predichos para tales características, en base a los modelos establecidos para dichas variables respuestas de la formulación óptima fueron: 14.84 % de proteína 4.40 N de dureza, 2.19 mL/g de volumen y 0.63 N.m de *setback*. Y, los valores hallados en la validación estadística fueron: 14.20 %, 4.39 N, 2.14 mL/g y 0.68 N, respectivamente.

4. La caracterización de la formulación óptima presentó un excelente contenido de fibra dietaria insoluble (9.87) y soluble (1.32), pH de 5.70, aw de 0.97, pérdida de cocción de 6.09% y humedad aceptable de 35.57 %.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Evaluar el tiempo de vida útil de la formulación óptima presentada, considerando las propiedades reológicas que poseen, con el fin de relacionar dichas variables respecto a la duración del pan de molde como tal.
- Realizar una correlación del perfil viscoamilográfico y análisis reológico obtenido de las mezclas de harinas sucedáneas a partir de las formulaciones del diseño de mezclas desarrolladas.
- Calcular y comparar el cómputo aminoacídico de las once formulaciones de panes de molde sustituidos incluyendo al pan control para analizar la calidad proteica existentes.
- Realizar una evaluación sensorial de la formulación óptima a través de una prueba de aceptabilidad con panelistas no entrenados.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- AACC. (1999). AACCI Method 74-09.01. Measurement of Bread Firmness by Universal Testing Machine. 11<sup>th</sup> ed. S. Paul, Minnesota: AACCI. USA
- AOAC (1995). AOAC Official Method 991. 43. Total, Soluble, and Insoluble Dietary Fiber in Foods Enzymatic-Gravimetric Method.
- AACC. (2010). AACCI Method 76-21.01. General Pasting Method for Wheat or Rye Flour or Starch Using the Rapid Visco Analyser 11<sup>th</sup> ed. S. Paul, Minnesota: AACCI. USA
- AACC. (2000). AACC International Approved Methods. Hydrogen-ion activity (pH)—electrometric method. 1200. USA doi: 10.1094/AACCIntMethod- 02-52.01.
- AOAC, (2007). Official Methods of Analysis.18th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Va. USA
- AOAC, (2016). AOAC Official methods of analysis. 20<sup>th</sup> Ed. AOAC International.
- Ahamed, N., Singhal, R., Kulkarni, P & Pal, M. (1998). A lesser- known grain, Chenopodium quinoa: Review of t e chemical composition of its edible parts. *Food and Nutrition Bulletin*. 19: 61-70. doi: doi.org/10.1177/156482659801900110
- Al-Sheraji, SH., Ismail, A., Manap, MY., Mustafa, S., Yusof, RM., Hassan, FA. (2013). Los prebióticos como alimentos funcionales: una revisión. *Revista de alimentos funcionales*, 5 (4). 1542-1553. doi:10.18684/BSAA(13)140-149
- Alasino, M., Andrich, O., Sabbag, N., Costa, S., de la Torre, M. & Sánchez, H. (2008). Panificación con harina de arvejas (*Pisum sativum*) previamente sometidas a inactivación enzimática. *Organo Oficial de La Sociedad Latinoamericana de Nutrición*, 58(20), 397–402. Recuperado de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S000406222008000400012&ln](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000406222008000400012&ln)

g=es.

Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science and Technology*, 21(2), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014>

Anticona, A. (2017). Comparación físico-química y reológica de harinas: trigo (*Triticum aestivum*), centeno (*Secale cereale*) y triticale (*x Triticosecale*) en elaboración de pan. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. E. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. Recuperado de <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/76>

Arone, H. D. (2015). Evaluación de las propiedades físicas, químicas y organolépticas del pan tipo molde enriquecido con harina de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) y chia (*salvia hispanica L.*). Recuperado de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAJ\\_afbfc090f1d804b19bbcb804aca5a4ab](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAJ_afbfc090f1d804b19bbcb804aca5a4ab)

Arp, C.G., Correa, M.J. & Ferrero, C. (2018). High-Amylose resistant starch as a functional ingredient in breads: a Technological and Microstructural Approach. *Food Bioprocess Technol* 11, 2182–2193 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2168-4>

Asif, M., Rooney, L. W., Ali, R., & Riaz, M. N. (2013). Application and opportunities of pulses in food system: A Review. *Food Science and Nutrition*, 53(11), 1168–1179. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.574804>

Badui, S. (2013). Química de los alimentos (5º edición). Naucalpan, Mexico: Editorial Pearson.

Bewley, J. D., Black, M., & Halmer, P. (Eds.). (2006). *The encyclopedia of seeds: science, technology and uses*. Cabi. USA.

Bigne, F., Puppo, M. C., & Ferrero, C. (2018). Mesquite (*Prosopis alba*) flour as a novel ingredient for obtaining a “panettone-like” bread. Applicability of part-baking technology. *LWT - Food Science and Technology*, 89(November 2017), 666–673.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.029>

- Bigne, F., Puppo, M. C., & Ferrero, C. (2020). Rheological and Microstructure Characterization of Composite Dough with Wheat and Mesquite (*Prosopis* spp) Flours. *International Journal of Food Properties*, 19(2), 243–256. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1020435>
- Bonet, A., Blaszczyk, W., & Rosell, C. M. (2006). *Formation of Homopolymers and Heteropolymers Between Wheat Flour and Several Protein Sources by Transglutaminase-Catalyzed Cross-Linking*. 83(6), 655–662.
- Bourne, M. (2002). Food texture and viscosity: concept and measurement (Secod Edit, Vol. 1). *New York State Agricultural Experiment Station and Institute of Food Science*.
- Briceño, L., Glorio-Paulet, P., Basso, C., Scarafoni, A., Camarena, F., Hidalgo, A., & Brandolini, A. (2021). Chemical Composition, Tocopherol and Carotenoid Content of Seeds from Different Andean Lupin (*Lupinus mutabilis*) Ecotypes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76(1), 98–104. <https://doi.org/10.1007/s11130-021-00880-0>
- Burešová, I., Tokár, M., Mareček, J., Hřivna, L., Faměra, O., & Šottníková, V. (2017). The comparison of the effect of added amaranth, buckwheat, chickpea, corn, millet and quinoa flour on rice dough rheological characteristics, textural and sensory quality of bread. *Journal of Cereal Science*, 75, 158–164. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.04.004>
- Catterall, P. (1998). *La Molienda en Fabricación de pan*. España. Editorial Acribia, SA.
- Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2009). *Tecnología de panificación*. Sau Paulo-Brasil, Editora Manole.
- Carrión, H. (2019). *Mercado de producción agropecuaria en el Altiplano de Puno: Periodo 2008-2017* (Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Altiplano). Puno, Perú.
- Cauvain, S. (2015). *Tenchnology of breadmaking* (5° Edition). Editorial Springer. DOI 10.1007/978-3-319-14687-4\_12
- Chang, Q., Zheng, B., Zhang, Y., & Zeng, H. (2021). A comprehensive review of the factors influencing the formation of retrograded starch. *International Journal of Biological*

*Macromolecules*, 186(July), 163–173. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.050>

Chikpah, S. K., Korese, J. K., Hensel, O., Sturm, B., & Pawelzik, E. (2021). Rheological properties of dough and bread quality characteristics as influenced by the proportion of wheat flour substitution with orange-fleshed sweet potato flour and baking conditions. *Lwt*, 147, 111515. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111515>

Chisenga, S. M., Workneh, T. S., Bultosa, G., Alimi, B. A., & Siwela, M. (2020). Dough rheology and loaf quality of wheat-cassava bread using different cassava varieties and wheat substitution levels. *Food Bioscience*, 34(November 2018), 100529. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100529>

Collar, C., Bollain, C., & Rosell, C. M. (2007). Rheological behaviour of formulated bread doughs during mixing and heating. *Food Science and Technology International*, 13(2), 99–107. <https://doi.org/10.1177/1082013207078341>

Correa, B. (2017). Sustitucion parcial de harina de trigo por harina de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) para la elaboracion de pan de molde (Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala).

Correa, M. J., Pérez, G. T., & Ferrero, C. (2011). Pectins as Breadmaking Additives: Effect on Dough Rheology and Bread Quality. *Food and Bioprocess Technology*, 5(7), 2889–2898. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0631-6>

David, O., Arthur, E., Kwadwo, S. O., Badu, E., & Sakyi, P. (2015). Proximate composition and some functional properties of soft wheat flour. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(2), 753–758. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2015.0402097>

De la Cruz, W. (2009). Complementacion proteica de harina de trigo (*Triticum aestivum L.*) por harina de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y suero en pan de molde y tiempo de vida útil. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1742>

Dejaegher, B., & Heyden, Y. Vander. (2011). Experimental designs and their recent advances in set-up, data interpretation, and analytical applications. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 56(2), 141–158.

<https://doi.org/10.1016/j.jpba.2011.04.023>

- Doxastakis, G., Zafiriadis, I., Irakli, M., Marlani, H., & Tananaki, C. (2002). Lupin, soya and triticale addition to wheat flour doughs and their effect on rheological properties. *Food Chemistry*, 77(2), 219–227. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00362-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00362-4)
- Dubat, Arnaud; Rosell, Cristina; Gallagher, E. (2013). Mixolab a new approach to rheology. in *AACC International* (Edition, Vol. 1). AACC International.
- Edel, A; Rosell, C. (2007). De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. In *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents* (Hugo Báez).
- Emma, F., Urquizo, L., Melissa, S., Torres, G., Tolonen, T., Jaakkola, M., Grazzia, M., Wright, A. Von, Hannu, R. R., & Carme, K. (2016). *Development of a fermented quinoa- - based beverage. September*, 1–7. <https://doi.org/10.1002/fsn3.436>
- Encina-zelada, C. R., Cadavez, V., & Teixeira, J. A. (2019). *Optimization of Quality Properties of Gluten-Free Bread by a Mixture Design of Xanthan, Guar, and Hydroxypropyl Methyl Cellulose Gums*.
- Erben, M., & Osella, C. A. (2017). Optimization of mold wheat bread fortified with soy flour, pea flour and whey protein concentrate. *Food Science and Technology International*, 23(5), 457–468. <https://doi.org/10.1177/1082013217701583>
- Fu, Z., Yoo, M. J. Y., Zhou, W., Zhang, L., Chen, Y., & Lu, J. (2018). Effect of (–)-epigallocatechin gallate (EGCG) extracted from green tea in reducing the formation of acrylamide during the bread baking process. *Food Chemistry*, 242, 162–168. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.050>
- García, D. (2011). Desarrollo de un producto de panadería con harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd (Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia). Bogotá, Colombia.
- Gewehr, M. F., Danelli, D., Melo, I. M. D. E., Flores, S. H., & Jong, E. V. D. E. (2016). Nutritional and technological evaluation of bread made with quinoa flakes ( *Chenopodium quinoa willd* ). *Food Processing and Preservation*, 00(1745–4549).

<https://doi.org/10.1111/jfpp.12803>

- Glorio, P.; Repo-Carrasco, R.; Velezmoro, C.; Anticona, S.; Huaranga, R.; Martínez, P. ., & Melgarejo, S.; Astuhuaman, L.; Huamán, N.E.; Icochea, J.C.; Peña, J. C. (2008). Fibra dietaria en variedades peruanas de frutas, tubérculos, cereales y leguminosas. *Revista de La Sociedad Química Del Peru*, 74, 46–56.
- Gostin, A. I. (2019). Effects of substituting refined wheat flour with wholemeal and quinoa flour on the technological and sensory characteristics of salt-reduced breads. *LWT - Food Science and Technology*, 114(July), 108412. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108412>
- Gutierrez, H. G., De la Vara, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos. (2º edición) Mexico DF, Mexico. Editorial McGraw-Hill.
- Hadnađev, T. D., Torbica, A., & Hadnađev, M. (2011). Rheological properties of wheat flour substitutes/alternative crops assessed by Mixolab. *Procedia Food Science*, 1, 328–334. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.051>
- Henao-Osorio, S. & Aristizábal-Galvis, J. (2009). Influence of cassava genotype and composite flours substitution level on rheological behaviour during bread-making. *Rev. Ing. & Invest.* 29(1):39-46.
- Huánuco, E. (2020). Desarrollo de panetón andino con sutitución parcial de harina de trigo por harina de quinua (*Chenopodium quinoa*). (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Lima, Perú.
- Huayna, C. (2016). Optimización de formulación de premezcla para la elaboracion de Queque con sustitución parcial de harina de tarwi (*Lupinus Mutabilis*) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y evaluación de su vida útil. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano). Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3266>
- INACAL (2009). Norma Técnica Peruana NTP 205.062 (1ª Edición). 2009. Quinua (*Chenopodoium quinoa* Willd). Requisitos. 2009-06-24. Lima, Perú.
- INACAL (2015). Norma Técnica Peruana NTP 205.064 (2ª Edición). 2015. Trigo. Harina

- de trigo para consumo humano. Requisitos. 2015-04-30. Lima, Perú.
- INACAL (2016). Norma Técnica Peruana NTP 206.004 (1ª Edición). 2016. Pan de molde: Pan Blanco, Pan integral y sus productos tostados. 2016-08-26. Lima, Perú.
- Khoozani, A., Kebede, B., & El-Din Ahmed Bekhit, A. (2020). Rheological, textural and structural changes in dough and bread partially substituted with whole green banana flour. *Lwt*, 126, 109252. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109252>
- Kuehl, R. (2001). Diseño de Experimentos: Principios Estadísticos para el Diseño y Análisis de Investigaciones (2º edición). Editorial Thomson - Learning. México, D.F. 666 p.
- Lascano, A. (2010). Estudio reológico de la mezcla de Harinas de cereales: Cebada (*Hordeum Vulgare*), Maíz (*Zea mays*), Trigo (*Triticum vulgare*) y Tubérculo: papa (*Solanum tuberosum*) nacionales con Trigo (*Triticum vulgare*) Importado para orientar la elaboración de pan. (Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato) Ambato, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/867>
- Li, G., & Zhu, F. (2017). Physicochemical properties of quinoa flour as affected by starch interactions. *Food Chemistry*, 221, 1560–1568. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.137>
- López, J. M., & Paredes, K. S. (2018). Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum vulgare*) por harina de ajonjolí (*Sesamum indicum l.*) desgrasada y harina de arveja (*Sisum sativum*) en las características tecnológicas y sensoriales de cupcakes. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Santa) Recuperado de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3117>
- Lupano, C. (2013). Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento (1º Edición). Universidad Nacional de La Plata. Editorial Edulp.
- Maza, N. (2020). Extracción y caracterización fisicoquímica y tecnofuncional de carbohidratos tipo almidón de cinco variedades de quinua (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina).
- Machado-Alencari, N.M., Steel, C.J., Alvim, I., Carvalho de Moraes, E., & Andre-Bolini, H.

- (2015). Addition of quinoa and amaranth flour in gluten-free breads: Temporal profile and instrumental analysis. *LWT – Food Science and Technology*, 62 (2) doi: 10.1016/j.lwt.2015.02.029
- Mancebo, CM.; Martínez, MM.; Merino, C.; de la Hera, E & Gómez, M. (2017). Efecto de aceite y manteca en la calidad del pan de arroz: relación entre la reología de la masa y características de calidad. *Journal of Texture Studies*, 48 (6), 597-606.
- Melgar, B., Pereira, E., Oliveira, M. B. P. P., García-Castello, E. M., Rodríguez-Lopez, A. D., Sokovic, M., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Extensive profiling of three varieties of *Opuntia* spp. fruit for innovative food ingredients. *Food Research International*, 101, 259-265. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.024>
- Mesas, J.M., Alegre, M.T. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 3 (5), 307-313. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72430508>
- Mínguez, J. (2012). Caracterización de la harina de Teff para su uso en panificación. (Tesis de doctorado, Universidad de Valladolid). Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/2030>
- Ministerio de Agricultura (2018). Manejo agronomico. Granos andinos. Reportado de <https://www.midagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2019?download=14580:manejo-agronomico-de-granos-andinos&start=20>
- Montgomery, D. (2002). Diseño de análisis de experimentos (2º Edición). Editorial Limusa Wiley.
- Monthe, O. C., Grosmaire, L., Nguimbou, R. M., Dahdouh, L., Ricci, J., Tran, T., & Ndjouenkeu, R. (2019). Rheological and textural properties of gluten-free doughs and breads based on fermented cassava, sweet potato and sorghum mixed flours. *Lwt*, 101, 575–582. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.051>
- Mujica, A., & Jacobsen, S. E. (2006). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. *Botanica económica de los Andes Centrales*, 32, 449-457. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Monica-Moraes-R/publication/312313242\\_Botanica\\_Economica\\_de\\_los\\_Andes\\_Centrales/links/5879](https://www.researchgate.net/profile/Monica-Moraes-R/publication/312313242_Botanica_Economica_de_los_Andes_Centrales/links/5879)

- Navia-coarite, N. A., Nina-mollisaca, G. L., Mena-gallardo, E. P., & Salcedo-ortiz, L. (2019). Hidrólisis enzimática en harina de quinua y tarwi por efecto de  $\alpha$ -amilasa. *Enzymatic hydrolysis in quinoa y tarwi flour by  $\alpha$ -amylase. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 17(1), 64–73. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v17n1.1205>
- Nowak, V., Du, J., & Charrondièrre, U. R. (2015). Assessment of the Nutritional Composition of Quinoa ( *Chenopodium quinoa* Willd ). *Food chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111>
- Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (2002). Pan trigo. Mejora y producción. Italia, Roma.
- Pacheco, A. R. (2016). Elaboración de panes sin gluten utilizando harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y almidón de papa (*Solanum tuberosum*).
- Pazmiño, M. (2013). Determinación del perfil de la harina de trigo (*Genustriticum*) tipo panadera elaborada en molinos cordillera- Sucesores de Jacobo Paredes M.S.A. (Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial). Quito, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/5051>
- Peleg, M. (2019). The instrumental texture profile analysis revisited. *Journal of Texture Studies*, 50(5), 362–368. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12392>
- Peña, R.; Amaya, A. & Del Toro, E. (1991). Efecto del almacenamiento y del lavado del grano en las características de calidad de muestras de trigo (variedad Seri M82) con diferentes niveles de carbón parcial (*Tilletia indica*). Reporte Especial de Trigo No. 7. México. CIMMYT. Pp.24-32.
- Peña, A. (2020). Influencia de la germinación sobre los azúcares reductores en quinua y su efecto en los atributos tecnológicos del pan (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina).
- Pereira, E., Encina-Zelada, C., Barros, L., Gonzales-Barron, U., Cadavez, V., & C.F.R. Ferreira, I. (2019). Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa*

- Willd (quinoa) grains: A good alternative to nutritious food. *Food Chemistry*, 280(September 2018), 110–114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.068>
- Ragae, S., Guzar, I., Dhull, N., & Seetharaman, K. (2011). LWT - Food Science and Technology Effects of fiber addition on antioxidant capacity and nutritional quality of wheat bread. *LWT - Food Science and Technology*, 44(10), 2147–2153. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.06.016>
- Repo-Carrasco, R., Espinoza, C., & Jacobsen, S. E. (2003). Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food reviews international*, 19(1-2), 179-189. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018884>
- Repo-Carrasco, R.; Solorzano, F. (2020). Granos Andinos: Súper alimentos en la cocina. [https://34f4ffd4-e3f1-4498-a113-95c0d8bb1b61.filesusr.com/ugd/475dbf\\_0dd7e792c362423986d565904a81e45b.pdf?index=true](https://34f4ffd4-e3f1-4498-a113-95c0d8bb1b61.filesusr.com/ugd/475dbf_0dd7e792c362423986d565904a81e45b.pdf?index=true)
- Rodriguez, C., Lom, M. (2006). Elaboración de pan integral panufi SA de RL (Tesis de grado, Instituto Politecnico Nacional). Recuperado de <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/23168>
- Rodríguez-Sandoval, E., Lascano, A., & Sandoval, G. (2012). Influence of the Partial Substitution of Wheat Flour for Quinoa and Potato Flour on the Thermomechanical and Breadmaking Properties of Dough. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1), 199–207.
- Rosell, C. Concepcion, M. (2007). Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab. *Food Hydrocolloids*, 21, 452–462. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.05.004>
- Rosell, C. M., Cortez, G., & Repo-carrasco, R. (2009). Breadmaking Use of Andean Crops Quinoa , Kañiwa , Kiwicha , and Tarwi. *Cereal Chemistry*, 86(4), 386–392. <https://doi.org/doi:10.1094>
- Rosell, C. M., & Santos, E. (2010). Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. *Journal of Food Engineering*, 98(2), 273–281.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.008>

Rosentrater, K. A., & Evers, A. D. (2018). Bread-baking technology. In *Kent's Technology of Cereals*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100529-3.00008-6>

Salazar, D. (2015). Estudio de la sustitución parcial de harina de trigo con harina de quinua cruda y tostada en la elaboración de pan (Tesis de pregrado, Universidad tecnológica equinoccial). Quito, Ecuador.

Sarmiento, T. R. (2012). Impacto del procesamiento sobre la pared celular y las propiedades hipoglucémicas y tecnofuncionales de leguminosas. 269. Recuperado de [https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/12817/61684\\_rachel\\_sarmiento\\_thaise.pdf?sequence=1](https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/12817/61684_rachel_sarmiento_thaise.pdf?sequence=1)

Sarmiento, Y. (2015). Estudio de la sustitución parcial de la harina de trigo por la harina de amaranto crudo y tostado en la elaboración de pan (Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial). Recuperado de <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/5131>

Schmiele, M., Ferrari Felisberto, M. H., Pedrosa Silva Clerici, M. T., & Chang, Y. K. (2016). Mixolab™ for rheological evaluation of wheat flour partially replaced by soy protein hydrolysate and fructooligosaccharides for bread production. *LWT - Food Science and Technology*, 76, 259–269. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.014>

Serpil, S. & Servet, S. (2006). Physical Properties of Foods (Middle Eas). Ankara, Turkey. *Food Science & Nutrition*, 31 (1). Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=v854Fu2D7VUC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>

Švec, I., Kapačinskaitė, R., & Hrušková, M. (2020). Wheat dough fermentation and bread trial results under the effect of quinoa and canahua wholemeal additions. *Czech Journal of Food Sciences*, 38(1), 49–56. <https://doi.org/10.17221/12/2019-CJFS>

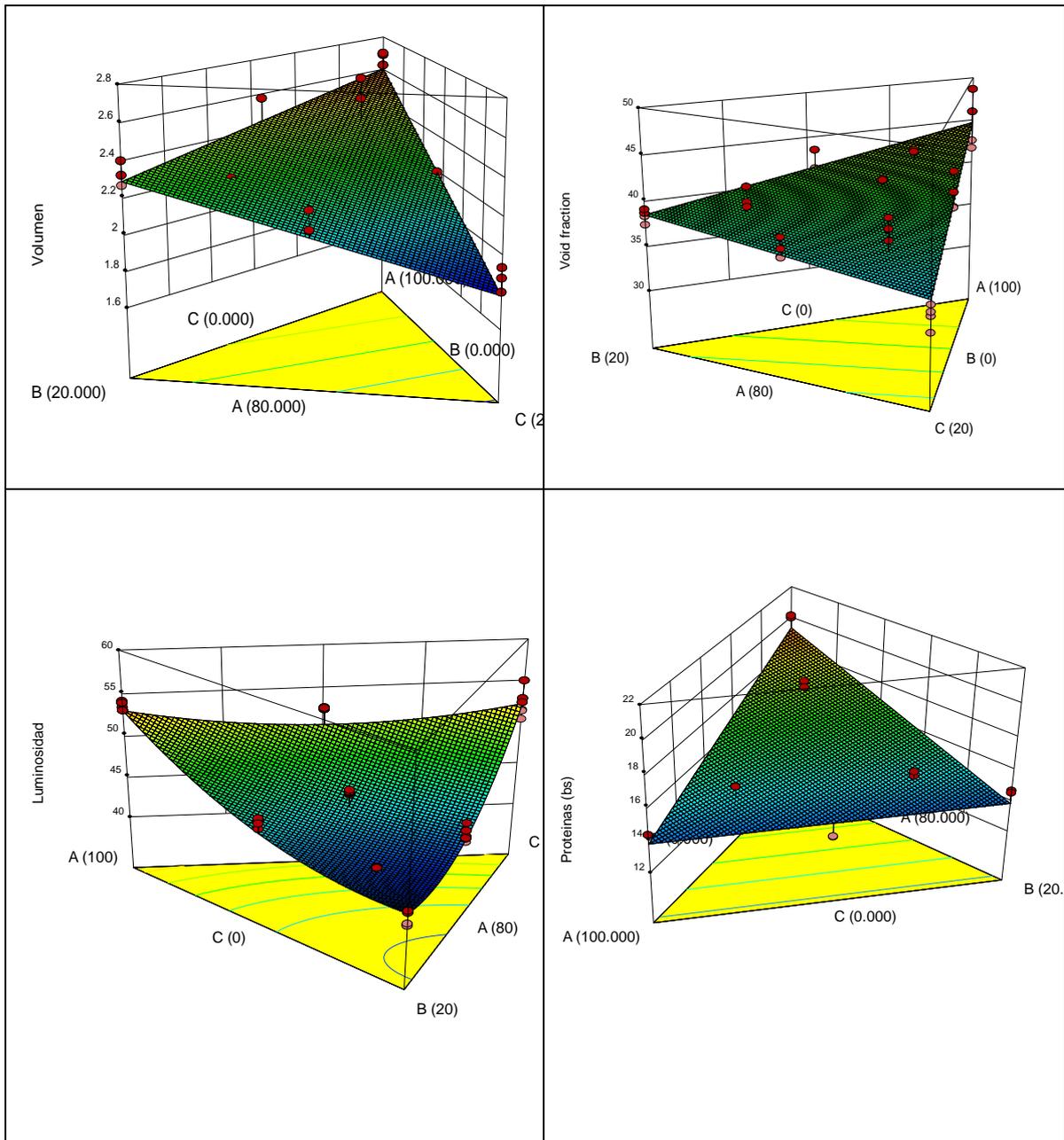
Tapia, M. E. (2015). El tarwi, lupino andino (*Lupinus mutabilis* Sweet). Recuperado de <http://fadvamerica.org/wp-content/uploads/2017/04/TARWI-espanol.pdf>

Turkut, G. M., Cakmak, H., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2016). Effect of quinoa flour on

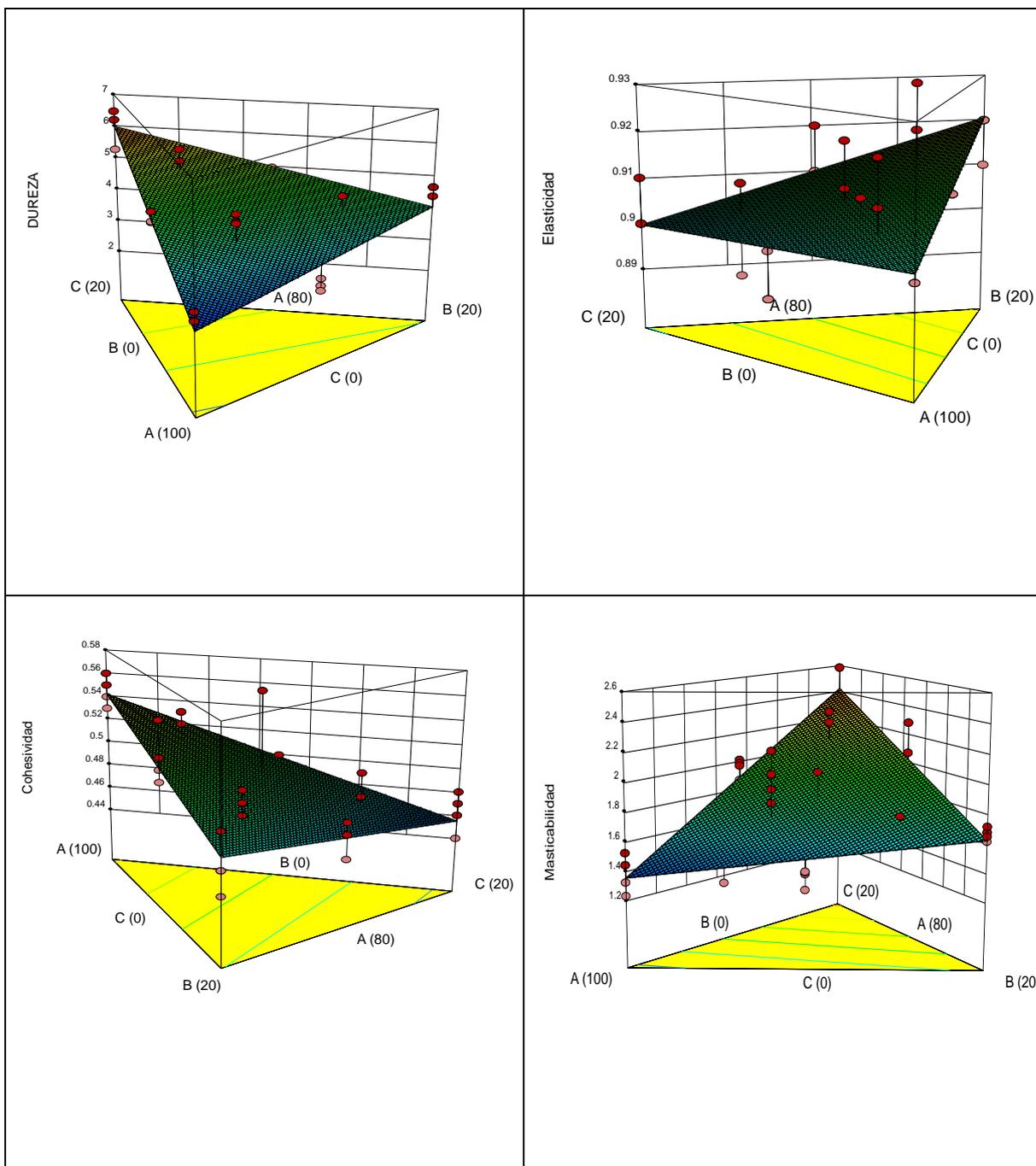
- gluten-free bread batter rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 69, 174–181. doi: 10.1016/j.jcs.2016.03.005
- Vasquez, F., Verdu, S., Islas, A., Barat, J., Grau, R., & Casillas, R. (2017). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena, maíz y sorgo sobre las propiedades reológicas de la masa, texturales y sensoriales del pan. 71(1981), 19–26.
- Vega, G. (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 13(38), 27-32. Recuperado de [http://mixteco.utm.mx/edi\\_anteriores/Temas38/2NOTAS%2038-1.pdf](http://mixteco.utm.mx/edi_anteriores/Temas38/2NOTAS%2038-1.pdf)
- Vidaurre-Ruiz, J. Salas Valerio, W. Repo-Carrasco-Valencia, R. (2019). Propiedades de pasta y texturales de las mezclas de harinas de quinoa (*Chenopodium quinoa*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*) en un sistema acuoso Pasting. *Revista De Investigaciones Altoandinas*, 21(1), 5–14. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.441>
- Villarino, C. B. J., Jayasena, V., Coorey, R., Chakrabarti-Bell, S., Foley, R., Fanning, K., & Johnson, S. K. (2015). The effects of lupin (*Lupinus angustifolius*) addition to wheat bread on its nutritional, phytochemical and bioactive composition and protein quality. *Food Research International*, 76(P1), 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.046>
- Wang, S., Opassathavorn, A., & Zhu, F. (2015). Influence of quinoa flour on quality characteristics of cookie, bread and chinese steamed bread. *Journal of Texture Studies*, 46(4), 281–292. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12128>
- Zzaman, W. & Yang, T. A. (2014). Moisture, colour and texture changes in cocoa beans during superheated steam roasting. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3), 1364–1370. doi: 10.1111/jfpp.12

## VIII. ANEXOS

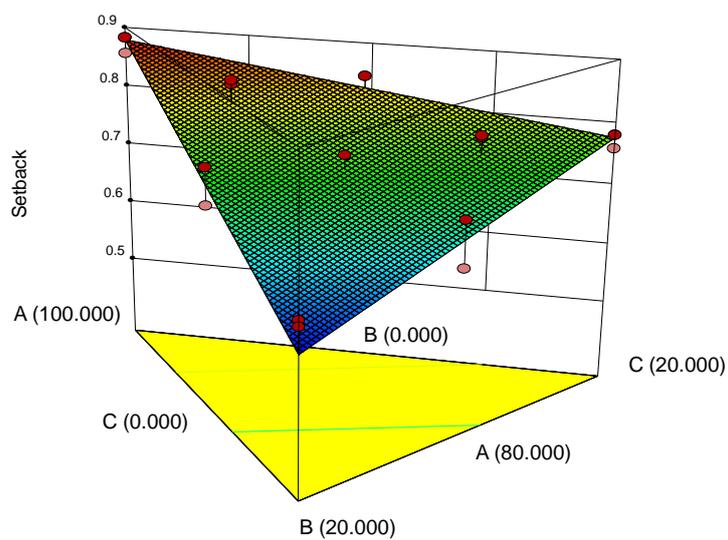
### ANEXO 1: GRÁFICO DE RESPUESTA TRIDIMENSIONALES DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL PAN DE MOLDE SUSTITUIDO



## ANEXO 2: GRÁFICOS DE RESPUESTA TRIDIMENSIONALES DE LAS PROPIEDADES TEXTURALES DEL PAN DE MOLDE SUSTITUIDO



**ANEXO 3: GRÁFICO DE RESPUESTA TRIDIMENSIONAL DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LAS MEZCLAS DE HARINAS**



**Figura 1: Gráfico tridimensional de setback (estabilidad del pan)**

## ANEXO 4: ELECCIÓN DE LA MEJOR FORMULACIÓN SEGÚN FUNCIÓN DE DESEABILIDAD

Design-Expert® Software  
 Component Coding: Actual  
 Desirability  
 1.000  
 0.000  
 X1 = A: trigo  
 X2 = B: quinua  
 X3 = C: tarwi

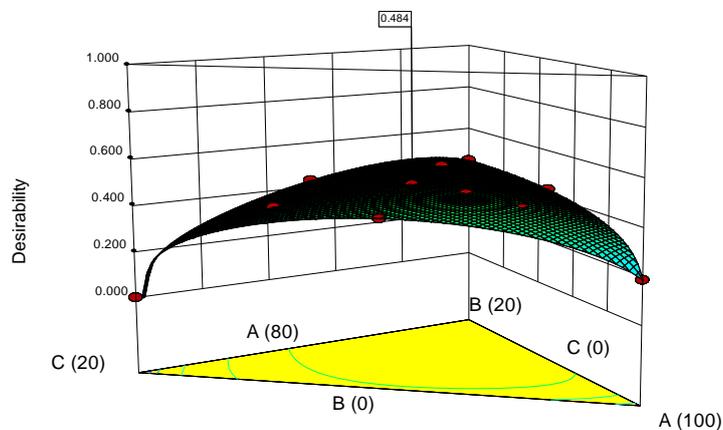


Figura 1: Gráfico de deseabilidad

Tabla 1: Formulaciones óptimas según función de deseabilidad

F óp- timas	HT	HQ	HW	Dureza	Set- back	Volumen	Proteínas	Deseabi- lidad
1	82.269	13.912	3.819	4.279	0.664	2.228	14.865	0.486
2	80.000	16.278	3.712	4.402	0.631	2.195	14.836	0.484
3	81.882	18.812	0	3.923	0.625	2.319	13.791	0.451

\*HT: Harina de trigo, HQ: Harina de quinua, HW: Harina de tarwi



## ANEXO 6: ELABORACIÓN Y OBTENCIÓN DEL PAN ÓPTIMO



Boleado de la masa



Moldeado de la masa



Inicio de fermentación



Fin de fermentación



Etapa de horneado



Pan óptimo