

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y REOLÓGICA DE  
GALLETAS SUSTITUIDAS PARCIALMENTE POR HARINA DE  
TARWI (*Lupinus mutabilis*) Y HARINA DE KAÑIWA (*Chenopodium  
pallidicaule*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**ALVARO JOSUÉ BRACAMONTE HERRERA**

**LIMA – PERÚ**

**2023**

---

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

## Document Information

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Analyzed document</b> | DOCUMENTO TESIS_ALVARO BRACAMONTE 2023.docx (D156841728) |
| <b>Submitted</b>         | 1/24/2023 9:21:00 PM                                     |
| <b>Submitted by</b>      | CHRISTIAN R. ENCINA ZELADA                               |
| <b>Submitter email</b>   | cencina@lamolina.edu.pe                                  |
| <b>Similarity</b>        | 11%  |
| <b>Analysis address</b>  | cencina.unalm@analysis.arkund.com                        |

## Sources included in the report

|           |   |   |    |
|-----------|---|---|----|
|           | <b>Universidad Nacional Agraria La Molina / DOCUMENTO DE TESIS-EXTRACCION ALMIDON CAÑIHUA-YEFERSON MARTEL ARANDA.pdf</b>  |   |    |
| <b>SA</b> | Document DOCUMENTO DE TESIS-EXTRACCION ALMIDON CAÑIHUA-YEFERSON MARTEL ARANDA.pdf (D143262151)<br>Submitted by: ibp@lamolina.edu.pe<br>Receiver: ibp.unalm@analysis.arkund.com  |    | 4  |
|           | <b>Universidad Nacional Agraria La Molina / Documento de Tesis - GUTIERREZ CASTILLO...docx</b>  |   |    |
| <b>SA</b> | Document Documento de Tesis - GUTIERREZ CASTILLO...docx (D134843933)<br>Submitted by: cencina@lamolina.edu.pe<br>Receiver: cencina.unalm@analysis.arkund.com  |  | 23 |
|           | URL: <a href="https://www.indecopi.gob.pe/documents/20791/2291514/Boletin+N%C2%B0+8+-+Ca%C3%B1hua.pdf">https://www.indecopi.gob.pe/documents/20791/2291514/Boletin+N%C2%B0+8+-+Ca%C3%B1hua.pdf</a><br>Fetched: 4/16/2022 10:55:27 PM                            |  | 3  |
|           | URL: <a href="http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1951/T033_45826772_T.pdf?sequence=1&amp;i...">http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1951/T033_45826772_T.pdf?sequence=1&amp;i...</a><br>Fetched: 1/24/2023 9:25:00 PM |  | 4  |
|           | <b>Universidad Nacional Agraria La Molina / BORRADOR DE TESIS 30.05.22.docx</b>   |   |    |
| <b>SA</b> | Document BORRADOR DE TESIS 30.05.22.docx (D138922969)<br>Submitted by: cencina@lamolina.edu.pe<br>Receiver: cencina.unalm@analysis.arkund.com   |  | 2  |
|           | URL: <a href="https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4374/vidaurre.ruiz-julio-mau...">https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4374/vidaurre.ruiz-julio-mau...</a><br>Fetched: 2/7/2022 11:42:47 PM         |  | 13 |
|           | URL: <a href="https://www.researchgate.net/publication/331613065_Propiedades_de_pasta_y_texturales_de_las_me...">https://www.researchgate.net/publication/331613065_Propiedades_de_pasta_y_texturales_de_las_me...</a><br>Fetched: 10/24/2019 11:31:47 PM       |  | 1  |
|           | <b>TESIS MOISES CHIRIGUAYA URKUND.docx</b>  |   |    |
| <b>SA</b> | Document TESIS MOISES CHIRIGUAYA URKUND.docx (D62882346)  |  | 2  |
|           | <b>TESIS PARA ANTIPLAGIO-26-9-19.pdf</b>  |   |    |
| <b>SA</b> | Document TESIS PARA ANTIPLAGIO-26-9-19.pdf (D54218845)  |  | 4  |
|           | <b>Nataly Llumiquinga - tesis-final.docx</b>  |   |    |
| <b>SA</b> | Document Nataly Llumiquinga - tesis-final.docx (D127290022)   |  | 4  |
|           | <b>TESIS LILIBETH BERNARDINO BONOZO 2021.docx</b>   |   |    |
| <b>SA</b> | Document TESIS LILIBETH BERNARDINO BONOZO 2021.docx (D129865899)  |  | 2  |

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y REOLÓGICA DE  
GALLETAS SUSTITUIDAS PARCIALMENTE POR HARINA  
DE TARWI (*Lupinus mutabilis*) Y HARINA DE KAÑIWA  
(*Chenopodium pallidicaule*)”**

Presentado por:

ALVARO JOSUÉ BRACAMONTE HERRERA

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

---

Mg.Sc. Luis A. Briceño Berrú  
**PRESIDENTE**

---

M.Sc. Gloria J. Pascual Chagman  
**MIEMBRO**

---

Dra. Gladys M. Tarazona de Rodríguez  
**MIEMBRO**

---

Dr. Christian R. Encina Zelada  
**ASESOR**

---

Dra. María Jimena Correa  
**CO-ASESORA**

Lima – Perú

2023

## DEDICATORIA

*A mi madre Laura Herrera Icaza, quien ha confiado siempre en mis capacidades como persona y profesional.*

*A mi padre José Bracamonte Barco, por enseñarme a persistir en mis objetivos y apostar por mí incondicionalmente.*

*A Laryssa, mi compañera, amor y soporte, de quien tengo la fortuna de tener en mi vida.*

## AGRADECIMIENTO

- Al Dr. Christian Encina y la Dra. Jimena Correa por su apoyo y enseñanza constante durante todo este proceso, tanto a distancia como en los laboratorios donde se llevó a cabo el trabajo de investigación.
- A la Dra. Sylvia Alcázar, Dr. Julio Vidaurre, Mg. Sc. Víctor Delgado y mis compañeros del proyecto “*Gran Pan*” por todo el apoyo brindado durante esta etapa tan enriquecedora.
- 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.</b>  | <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                        | <b>1</b> |
| <b>II.</b> | <b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>               | <b>2</b> |
| 2.1.       | TRIGO ( <i>Triticum aestivum spp.</i> ) .....    | 2        |
| 2.1.1.     | GENERALIDADES DEL TRIGO .....                    | 2        |
| 2.1.2.     | COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TRIGO.....               | 3        |
| 2.2.       | KAÑIWA ( <i>Chenopodium pallidicaule</i> ) ..... | 5        |
| 2.2.1.     | GENERALIDADES DE LA KAÑIWA .....                 | 5        |
| 2.2.2.     | COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA KAÑIWA.....            | 6        |
| 2.2.3.     | HARINA DE KAÑIWA.....                            | 8        |
| 2.3.       | TARWI ( <i>Lupinus mutabilis</i> ) .....         | 9        |
| 2.3.1.     | GENERALIDADES DEL TARWI.....                     | 9        |
| 2.3.2.     | COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TARWI .....              | 9        |
| 2.3.3.     | HARINA DE TARWI .....                            | 10       |
| 2.4.       | GALLETAS .....                                   | 12       |
| 2.4.1.     | REQUISITOS FISICOQUÍMICOS DE LAS GALLETAS .....  | 12       |
| 2.4.2.     | CLASIFICACIÓN DE LAS GALLETAS.....               | 13       |
| 2.4.3.     | MÉTODOS DE ELABORACIÓN DE GALLETAS .....         | 14       |
| 2.5.       | DISEÑO DE MEZCLAS EN ALIMENTOS.....              | 14       |
| 2.5.1.     | ANÁLISIS DE FACTORES EN DISEÑO DE MEZCLAS.....   | 15       |

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| 2.5.2.      | DISEÑO DE MEZCLA DE TRES COMPONENTES.....       | 15        |
| <b>III.</b> | <b>METODOLOGÍA.....</b>                         | <b>17</b> |
| 3.1.        | LUGAR DE EJECUCIÓN.....                         | 17        |
| 3.2.        | MATERIA PRIMA E INSUMOS .....                   | 17        |
| 3.2.1.      | MATERIAS PRIMAS.....                            | 17        |
| 3.2.2.      | INSUMOS .....                                   | 17        |
| 3.3.        | MATERIALES, EQUIPOS, REACTIVOS Y PROGRAMAS..... | 18        |
| 3.3.1.      | MATERIALES.....                                 | 18        |
| 3.3.3.      | REACTIVOS .....                                 | 19        |
| 3.3.4.      | PROGRAMAS.....                                  | 19        |
| 3.4.        | METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....                  | 19        |
| 3.4.1.      | ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN .....                | 19        |
| 3.4.2.      | ELABORACIÓN DE GALLETAS CON SUSTITUCIÓN .....   | 21        |
| 3.5.        | DISEÑO EXPERIMENTAL .....                       | 24        |
| 3.6.        | MÉTODOS DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN.....           | 26        |
| 3.6.1.      | ANÁLISIS EN HARINAS Y MEZCLAS.....              | 26        |
| 3.6.2.      | ANÁLISIS EN MASAS .....                         | 27        |
| 3.6.3.      | ANÁLISIS EN GALLETAS.....                       | 28        |
| 3.6.4.      | ANÁLISIS EN FORMULACIÓN ÓPTIMA .....            | 29        |
| 3.6.5.      | ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....                      | 30        |
| <b>IV.</b>  | <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>             | <b>33</b> |
| 4.1.        | CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS Y MEZCLAS.....   | 33        |

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| 4.1.1.      | ANÁLISIS PROXIMAL .....   | 33        |
| 4.1.2.      | CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA ALCALINA (%CRAA).....                                      | 35        |
| 4.1.3.      | PERFIL VISCOAMILOGRÁFICO DE LAS MEZCLAS DE HARINAS .....                                  | 37        |
| 4.2.        | CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS .....  | 43        |
| 4.2.1.      | ACTIVIDAD DE AGUA (AW).....   | 43        |
| 4.2.2.      | ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA EN LAS MASAS .....  | 44        |
| 4.3.        | ANÁLISIS EN GALLETAS SUSTITUIDAS.....   | 48        |
| 4.3.1.      | HUMEDAD (%) Y ACTIVIDAD DE AGUA (AW).....   | 48        |
| 4.3.2.      | ANÁLISIS DE COLOR DE GALLETAS SUSTITUIDAS.....  | 50        |
| 4.3.3.      | ANÁLISIS DE FIRMEZA .....   | 53        |
| 4.3.4.      | DETERMINACIÓN DEL FACTOR GALLETITA (SPREAD FACTOR).....                                   | 55        |
| 4.3.5.      | ANÁLISIS DE PROTEÍNAS EN GALLETAS SUSTITUIDAS .....                                       | 57        |
| 4.4.        | .....OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE LAS VARIABLES RESPUESTA EN LAS GALLETAS SUSTITUIDAS ..... | 59        |
| 4.5.        | VALIDACIÓN DE FORMULACIÓN ÓPTIMA.....   | 67        |
| 4.6.        | CARACTERIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA.....   | 68        |
| <b>V.</b>   | <b>CONCLUSIONES .....</b>   | <b>71</b> |
| <b>VI.</b>  | <b>RECOMENDACIONES .....</b>  | <b>72</b> |
| <b>VII.</b> | <b>ANEXOS.....</b>  | <b>86</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Intervalo de concentración de componentes principales del trigo (g/100g de trigo)<br>.....   | 3  |
| Tabla 2: Composición proximal de kañiwa (g/100 g) .....   | 6  |
| Tabla 3: Concentración de azúcares libres en kañiwa, quinua y kiwicha (g/100g de materia<br>seca).....  | 7  |
| Tabla 4: Composición proximal del grano de tarwi (g/100g).....  | 9  |
| Tabla 5: Composición química de harina de tarwi (g/100g) .....  | 10 |
| Tabla 6: Requisitos fisicoquímicos para productos de galletería .....   | 13 |
| Tabla 7: Clasificación de productos galleteros .....  | 13 |
| Tabla 8: Rangos de incorporación empleados con harinas sucedáneas.....  | 24 |
| Tabla 9: Formulaciones del diseño de mezclas de estudio .....   | 25 |
| Tabla 10: Esquema del diseño experimental para la evaluación del efecto de las harinas<br>sucedáneas en las galletas.....   | 32 |
| Tabla 11: Componentes proximales de las harinas de trigo, kañiwa y tarwi.....   | 33 |
| Tabla 12: Valores medios de capacidad de retención de agua alcalina de harinas y mezclas<br>.....   | 35 |
| Tabla 13: Temperatura de pasta y tiempo de viscosidad en perfil viscoamilográfico de las<br>formulaciones .....   | 38 |
| Tabla 14: Valores medios de pico de viscosidad, viscosidad final, viscosidad mínima,<br>breakdown y setback total en perfil viscoamilográfico de las formulaciones..... | 41 |
| Tabla 15: Valores promedio de actividad de agua (Aw) .....  | 43 |
| Tabla 16: Propiedades texturales de las masas del diseño de mezclas y formulación control<br>.....  | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 17: Valores promedio de humedad (%) y actividad de agua ( $A_w$ ) .....  | 49 |
| Tabla 18: Valores promedio de coordenadas de color ( $L^*$ ), $a^*$ y $b^*$ .....  | 50 |
| Tabla 19: Valores promedio de firmeza (en gf) de las formulaciones .....   | 53 |
| Tabla 20: Valores de diámetro (en mm), espesor (en mm) y factor galletita.....   | 56 |
| Tabla 21: Contenido promedio de proteínas (%).....   | 57 |
| Tabla 22: Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis) de las propiedades evaluadas en las galletas del diseño de mezclas .....   | 59 |
| Tabla 23: Modelos predictivos de las variables estudiadas en las galletas.....   | 60 |
| Tabla 24: Resumen estadístico del análisis de varianza (ANOVA) y bondad de ajuste de los modelos ajustados en las propiedades fisicoquímicas y reológicas de las galletas. ....  | 63 |
| Tabla 25: Formulación óptima determinada por el análisis de función de deseabilidad en los componentes: harinas de trigo, kañiwa y tarwi y variables respuestas pronosticadas basadas en restricciones aplicadas a variables significativas en galletas..... | 66 |
| Tabla 26: Rangos de validación de las variables respuesta analizadas en la formulación óptima .....  | 68 |
| Tabla 27: Valores promedio de componentes proximales (%) .....   | 68 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Representación gráfica de los factores para a) una mezcla de tres componentes; b) un sistema Simple de tres componentes.....  | 16 |
| Figura 2: Etapas de la investigación.....   | 20 |
| Figura 3: Diagrama de flujo de elaboración de las galletas sustituidas parcialmente.<br>*Cantidad de agua empleada según % de humedad promedio de harina.....   | 23 |
| Figura 4: Distribución de los componentes de mezcla.....  | 26 |
| Figura 5: Representación gráfica del análisis RVA para las formulaciones F0 (control), F2, F4 y F11.....  | 42 |
| Figura 6: Determinación de los parámetros texturales en la curva de perfil de textura (TPA)<br>.....  | 46 |
| Figura 7: Valores promedio de las coordenadas cromáticas L*a*b* de las formulaciones del diseño de mezclas y control (100%HT). ....   | 52 |
| Figura 8: Firmeza promedio (en gf) en las formulaciones control y del diseño de mezclas evaluado.....   | 55 |
| Figura 9: Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de las harinas de tarwi (A), kañiwa (B) y trigo (C) sobre las propiedades de firmeza (a), factor galletita (b) y contenido de proteínas (c) de las galletas del diseño de mezclas. .... | 64 |
| Figura 10: Contornos tridimensionales (izquierda) y bidimensionales (derecha) de deseabilidad de la predicción de la formulación óptima de harinas de trigo, kañiwa y tarwi determinada por el análisis de función de deseabilidad .....                  | 67 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |    |
|---|----|
| ANEXO 1: GRÁFICAS DE COMPARACIÓN DE ANÁLISIS RVA PARA PROPIEDADES DE EMPASTE.....   | 86 |
| ANEXO 2: GRÁFICOS SUPERFICIALES DE LAS GALLETAS (FORMULACIÓN CONTROL Y TRATAMIENTOS DEL DISEÑO DE MEZCLAS).....   | 88 |
| ANEXO 3: EFECTO DE LOS COMPONENTES QUE MUESTRAN EL EFECTO DE LAS HARINAS DE TARWI (A), KAÑIWA (B) Y TRIGO (C) EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y REOLÓGICAS DE LAS GALLETAS..... | 89 |
| ANEXO 4: ELABORACIÓN Y OBTENCIÓN DE LA GALLETA ÓPTIMA .....   | 91 |

## RESUMEN

La kañiwa es un pseudocereal y el lupino, también conocido como “tarwi” o “chocho”, es una leguminosa; los cuales se cultivan en los altos Andes de América del Sur. La kañiwa es rica en carbohidratos y fibra dietética, mientras que el lupino posee un alto contenido de proteínas (>40%). Ambos granos presentan aminoácidos esenciales con un notable perfil nutricional y un buen equilibrio de ácidos grasos, vitaminas y minerales. Esta investigación buscó determinar el efecto de la inclusión de harinas de kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*) sobre las propiedades nutricionales y tecnológicas de las galletas de harina de trigo, obteniendo una formulación óptima con dichas características. Se realizó la sustitución de harina de trigo (HT) por harinas de kañiwa (HK) y tarwi (HW), empleando las restricciones de inclusión de 20-40% y 10-20%, respectivamente; a través del método de diseño de mezclas. Se evaluaron análisis a lo largo de las tres etapas de investigación: harinas, masas y productos finales, aplicando en esta última, factores independientes tales como: humedad (H%), actividad de agua (Aw), luminosidad (L\*), firmeza (en gf), factor galletita (FG) y contenido de proteínas (cp%). En términos generales, las ecuaciones lineales explicaron adecuadamente (valor  $p < 0,05$ ) el comportamiento de las variables respuesta analizadas en las galletas. A niveles altos de harina de kañiwa, se obtuvieron valores más altos de FG y firmeza y valores más bajos de h%, L\* y cp%. Por otro lado, una mayor inclusión de harina de tarwi dio lugar a galletas más blandas con mayor contenido de L\* y cp% y menor FG. En función a los factores de calidad esperados, como la firmeza, factor galletita y contenido de proteínas, la mejor formulación fue la compuesta por 40% de harina de trigo, 40% de harina de kañiwa y 20% de harina de tarwi.

**Palabras clave:** Diseño de mezclas, galletas, factor galletita, firmeza, proteínas.

## ABSTRACT

Kañiwa crop is a pseudocereal and the lupine, also known as "tarwi" or "chocho", is a legume, which are cultivated in the high Andes of South America. Kañiwa is rich in carbohydrates and dietary fiber, while lupine has a high protein content (> 40%). Both grains have essential amino acids with a remarkable nutritional profile and a good balance of fatty acids, vitamins, and minerals. The aim of this research was to determine the effect of the inclusion of kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and tarwi (*Lupinus mutabilis*) flours on the nutritional and technological properties of wheat flour biscuits, obtaining an optimal formulation with these characteristics. Wheat flour (WF) was replaced by kañiwa (KF) and tarwi (TF) flours, using the inclusion restrictions of 20-40% and 10-20%, respectively, through the mix design method. Analyzes were evaluated throughout three research phases: flours, doughs, and final products, applying independent factors in biscuits such as: humidity (H%), water activity (Aw), luminosity (L \*), firmness (gf), spread factor (SF) and protein content (pc%). In general terms, the linear equations adequately explained (p value <0.05) the behavior of the response variables analyzed in the biscuits. At high levels of kañiwa flour, higher values of SF and firmness and lower values of H%, L \* and pc% were obtained. On the other hand, a higher inclusion of tarwi flour resulted in softer biscuits with higher content of L\* and pc% and lower SF. Based on the expected quality factors, such as firmness, cookie factor and protein content, the best formulation was composed of 40% wheat flour, 40% kañiwa flour and 20% tarwi flour.

**Keywords:** Mixture design method, biscuits, spread factor, firmness, proteins

## I. INTRODUCCIÓN

La tendencia de inclusión de granos andinos y leguminosas en formulaciones de galletas es cada vez mayor, esto se refleja en que las empresas de este sector consideran que se pueden ampliar la gama de productos tradicionales con nuevas alternativas de insumos. Además de suponer una oportunidad de dar un realce en el nivel de importancia que se les atribuye a estas materias primas. Esto en concordancia con las cifras recogidas por el INEI (2018) que sitúan a los granos andinos al final de una escala de importancia en superficie cosechada, siendo igual a 0.9%. La difusión de estos podría demandar una mayor superficie de cosecha, aumentando el consumo interno. Y, además, se podría contribuir con el volumen de producción de las empresas pertenecientes a la actividad económica denominada “Elaboración de productos de panadería y derivados” (PRODUCE, 2011).

La mezcla óptima con inclusión de harinas de granos andinos, bajo las restricciones de sustitución de harina de trigo, permitirá aumentar el contenido de proteínas totales en comparación a la harina de trigo (13.5%), debido a que las harinas sucedáneas de kañiwa y tarwi se encuentran en cantidades de 18.5% y 49.6%, respectivamente (Mamani & Molina, 2016; Pauro, 2017). Asimismo, la harina de tarwi contribuirá en mayor medida, en el contenido de lípidos totales, permitiendo que la mezcla aumente dicha concentración en un 74% aproximadamente con relación a la harina de trigo (2.2 g/100 g de harina). Finalmente, el contenido de fibra de la mezcla incrementará debido a que se encuentra en concentraciones mayores (6.3 y 7.9 g/100 g de harina de kañiwa y tarwi, respectivamente) en relación a la harina de trigo (Calaveras, 2004; Mamani & Molina, 2016).

Por lo antes expuesto, se buscó obtener una formulación óptima de textura deseable, similar a una galleta elaborada a base de harina de trigo; así mismo, lograr optimizar aspectos tales como la calidad mediante el factor galletita, nutricional en el contenido de proteínas totales, estabilidad como la actividad acuosa y finalmente, la funcionalidad a través del análisis de actividad antioxidante de las galletas óptimas del diseño de mezclas propuesto.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. TRIGO (*Triticum aestivum* spp.)

#### 2.1.1. GENERALIDADES DEL TRIGO

El origen del trigo todavía no es bien conocido, pero especies como *T. aegithaloides* han sido encontradas en excavaciones en Siria con fechas arqueológicas comprendidas entre 8400 y 7500 a.c. En Egipto se cultivaba hace 4000 años antes de nuestra era. Es probable que el trigo duro sea originario del Cercano Oriente (Berna, 1995). El trigo ha sido y es la base principal de la alimentación (Martínez, 2010), en primer lugar, en papillas y después en la obtención de pan. Posteriormente fue utilizado en sopas, tortas y masas empleándose en la actualidad en infinidad de elaboraciones. Peña et al. (1994) mencionan que el trigo se puede clasificar en distintas categorías según la dureza de grano (suave, medio-duro y duro) o el color (rojo, blanco y ámbar). Además, existe una subdivisión en subclases según el hábito de crecimiento del grano (primavera o invierno).

Desde el punto de vista comercial, las especies cultivadas más importantes se pueden dividir en dos grandes grupos: las destinadas a panificación o trigo pan (*T. aestivum*) y aquellas utilizadas en pastas o trigo fideo (*T. durum*). A su vez, el trigo pan se clasifica como duro o blando de acuerdo con la dureza de sus granos. El producto de la molienda de los granos de un cereal se conoce como harina. Dado que la harina proveniente de trigos duros suele tener un mayor contenido proteico (y un menor contenido de almidón) que la obtenida por molienda de trigo blando, se utiliza para panificación mientras que la harina proveniente de trigo blando se emplea para la producción de galletas (Hoseney & Rogers, 1990)

A esta última variedad de trigo, Ramos (2013) la denomina *suave o galletero*, es aquel trigo que tiene un endospermo suave, con bajo contenido de proteína. Debido a estas características, este trigo es adecuado para elaborar pasteles, galletas y productos afines (leudados con agentes químicos).

En cuanto a la molienda del grano de trigo, Gimferrer (2009) menciona que, en la producción de harina (previo acondicionamiento del grano), puede realizarse en seco, para separar las partes anatómicas del grano, o húmeda, en la que se logra obtener fracciones tales como almidón, proteínas y fibra. En esta molturación o trituración se elimina parcialmente el germen y salvado, y el resto es reducido a un grado de finura adecuado. El endospermo (estructura de mayor importancia) triturado es lo que se denomina harina; el germen, salvado y endospermo residual adherido, son los subproductos resultantes que se utilizan en alimentación animal (García, 2006).

### 2.1.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TRIGO

La composición del grano de trigo puede variar de acuerdo con la región, condiciones de cultivo y año de cosecha. También la calidad y cantidad de nutrientes depende de las especies de los trigos que influyen en sus propiedades nutritivas y funcionales (Kamal et al., 2009; Serna-Saldívar, 2009). En la Tabla 1, se describen los rangos de concentración de los principales componentes del trigo.

**Tabla 1: Intervalo de concentración de componentes principales del trigo (g/100g de trigo)**

| Componentes<br>proximales | Límite mínimo | Límite máximo |
|---------------------------|---------------|---------------|
| Humedad                   | 8.0           | 18.0          |
| Almidón                   | 60.0          | 68.0          |
| Proteínas                 | 7.0           | 18.0          |
| Lípidos                   | 1.5           | 2.0           |
| Fibra Cruda               | 2.0           | 2.5           |
| Cenizas                   | 1.5           | 2.0           |

FUENTE: Matz (1999)

#### **a. Contenido de Humedad**

Presenta un interés tecnológico, pues de ella depende la elección del momento de la recolección, el secado, el almacenamiento y su transformación industrial. Por otro lado, poseen un interés analítico, dada la necesidad de referir todos los resultados de los análisis a una base fija que se puede expresar en materia seca o en un contenido de agua estándar (Torpoco, 2014).

#### **b. Contenido de Proteínas**

Dentro de las proteínas que contiene el trigo las más importantes son las gluteninas y gliadinas. Estas representan entre el 78 y 85% de la proteína total del endospermo del trigo y, por lo tanto, las variaciones en el contenido total de proteína indican las variaciones en el contenido del gluten (el cual se forma cuando dichas proteínas se combinan con agua y se realiza un trabajo mecánico). Esta relación indica que, cuanto mayor es el contenido de proteínas (y de gluten) mayor será la calidad o fuerza de gluten de la variedad (Kohli & Martino, 1998).

#### **c. Contenido de Carbohidratos**

Los hidratos de carbono totales constituyen del 77 a 87% de la materia seca total y son, por lo tanto, los componentes mayoritarios. Aproximadamente el 64% es almidón y el resto, carbohidratos solubles e insolubles que constituyen la fibra dietética (Altenbach et al., 2003; Kent, 1993).

Los gránulos de almidón sufren modificaciones en su estructura debido a diferentes procesamientos tales como: calentamiento en presencia de agua, sometimiento a fuerzas de cizalla o enfriamiento. Según Copeland et al. (2009), cuando el almidón se somete a un calentamiento en presencia de agua, se llega a temperaturas que provocan que el almidón pierda cristalinidad y organización estructural. El almidón atraviesa un proceso de gelatinización. En cuanto a este proceso, específicamente, Donavan (1979) sostiene que se produce en dos fases: 1) los gránulos de almidón absorben agua hasta hincharse y 2) ruptura de la red cristalina antes descrita, la cual origina a su vez, la disociación de las dobles hélices de las cadenas de amilopectina; dicho proceso es irreversible (Tester & Debon, 2000).

#### **d. Contenido de Lípidos**

En el grano de trigo se encuentran presentes distintos tipos de lípidos, tales como ácidos grasos, glicéridos simples, galacto-glicéridos, fosfoglicéridos, esteroides, esfingolípidos, dioles, tocoferoles y carotenoides. Los lípidos tipo acil son los que se encuentran en mayor proporción; entre ellos predominan los triglicéridos que contienen ácido palmítico, esteárico, oleico, linoléico y  $\alpha$ -linolénico, encontrándose los mono y diglicéridos en menor proporción. Los ácidos grasos saturados constituyen el 11-26% del total y los no saturados el 72-85% (León et al., 2007).

#### **e. Contenido de Minerales**

Los minerales están en muy pequeña proporción en el grano de trigo, y es aún menor su presencia en el endospermo (inferior al 1%). Los componentes mayoritarios de esta fracción son los fosfatos y sulfatos de potasio, magnesio y calcio. También se encuentran cantidades significativas de hierro, magnesio, zinc y cobre (Matz, 1999).

### **2.2. KAÑIWA (*Chenopodium pallidicaule*)**

#### **2.2.1. GENERALIDADES DE LA KAÑIWA**

La kañiwa ha contribuido a la sobrevivencia de los pobladores andinos durante cientos de años, creciendo en condiciones climáticas y ecológicas consideradas entre las más difíciles del mundo (Repo-Carrasco, 1998).

Los requerimientos del cultivo de la kañiwa son similares a los de la quinua, aunque es menos exigente en cuanto a la calidad del suelo. Soporta temperaturas bajas de hasta -3 °C (es también menos exigente en cuanto a humedad que otros cultivos andinos). La kañiwa responde a las fertilizaciones de nitrógeno y fósforo, habiéndose obtenido rendimientos de 2400 kg/ha utilizando fertilización de nitrógeno y potasio (Lescano, 1989).

Actualmente existen tres variedades caracterizadas de este grano: *Cupi*, *Ramis* y *Cyclan* (Bravo et al., 2010). Se ha verificado una gran gama de colores del grano de kañiwa (crema,

rosado, rojo, granate, gris, amarillo, anaranjado y verde), esta variabilidad genética podría generar otros ecotipos o variedades.

### 2.2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA KAÑIWA

La importancia de la kañiwa se vincula a su composición nutricional, la cual permite que se revalorice por su capacidad antioxidante, esto la puede catalogar como un alimento funcional y como referencia para ser tomada en cuenta en mezclas alimenticias donde se busca aumentar dichas características.

En la Tabla 2 se exponen la composición promedio de los componentes proximales del grano de kañiwa.

**Tabla 2: Composición proximal de kañiwa (g/100 g)**

| Componentes proximales | Concentración (g/100g o %) |
|------------------------|----------------------------|
| Humedad                | 12.0                       |
| Proteínas              | 14.0                       |
| Carbohidratos          | 64.0                       |
| Grasa total            | 4.3                        |
| Fibra                  | 9.8                        |
| Ceniza                 | 5.4                        |

FUENTE: Collazos (1975)

#### a. Contenido de Humedad

Repo-Carrasco & Encina (2008) reportan que la kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) presenta un elevado contenido de proteínas (15-19%); posee un balance de aminoácidos de primera línea, siendo particularmente rica en lisina (5-6%), isoleucina y triptófano.

Además, De Bruin, (1964); Gross et al., (1989); White et al., (1955) encontraron que el valor nutricional de las proteínas de la kañiwa es equivalente al encontrado en la composición de la leche, mayoritariamente caseína.

**b. Contenido de Carbohidratos**

Bartolo & Dolly (2013) mencionan que el almidón es el carbohidrato de mayor relevancia; sin embargo, el almidón de la kañiwa no ha sido estudiado tan ampliamente en comparación a otros cereales. En relación con los azúcares libres, la kañiwa junto a otros cereales de importancia, posee esos compuestos en bajas concentraciones, tal com lo indica la siguiente tabla comparativa.

**Tabla 3: Concentración de azúcares libres en kañiwa, quinua y kiwicha (g/100g de materia seca)**

| Granos andinos | Azúcares Libres |          |         |
|----------------|-----------------|----------|---------|
|                | Glucosa         | Sacarosa | Maltosa |
| Kañiwa         | 1.80            | 2.60     | 1.70    |
| Quinua         | 1.70            | 2.90     | 1.40    |
| Kiwicha        | 0.75            | 1.30     | 1.30    |

FUENTE: Repo-Carrasco (1992)

**c. Contenido de lípidos**

El aceite de kañiwa posee alto contenido en ácidos grasos insaturados, así como también de tocoferoles. Incluso, el contenido de tocoferoles en aceite de kañiwa es mayor que en el de aceite de maíz (Repo-Carrasco et al., 2003). Se ha encontrado que el más alto porcentaje de ácidos grasos presentes en los aceites de kañiwa y quinua es el Omega 6 (ácido linoléico), siendo del 42.6% en la kañiwa. Estos valores son similares a los encontrados en aceite de germen de maíz, con un rango de 45–65%. El omega 9 (ácido oleico) es el segundo ácido

graso encontrado en mayor proporción, en cantidades de 23.5%, además posee omega 3 (ácido linoléico), 6% (Repo-Carrasco et al., 2003).

#### **d. Contenido de Fibra**

Repo-Carrasco et al., (2009) encontraron que la kañiwa también posee un alto contenido de fibra dietética, especialmente la fracción insoluble. Actualmente se presta más atención no solo al contenido de fibra, sino también a las fibras solubles e insolubles, por sus efectos benéficos para la digestión, en especial por su capacidad de absorción de agua, captación de cationes, absorción de compuestos orgánicos y formación de geles.

#### **e. Contenido de minerales**

La kañiwa es rica en micronutrientes, tales como hierro y calcio (Repo-Carrasco et al., 2009). Además, reporta una composición de 10-15 mg/100g de hierro y 87-141 g/100 g de Calcio presentes en la kañiwa, dependiendo de la variedad. También presenta fósforo (335- 496 mg/100g).

### **2.2.3. HARINA DE KAÑIWA**

A este tipo de harina se le denomina “kañiwaco” (Hurtado & Rodríguez, 2011) y es obtenida por medio de un proceso de tostado ligero de granos y molienda estandarizada. Puede ser empleada como harina sucedánea en distintos productos de panificación con alrededor de un 30% de sustitución parcial, obteniéndose productos (panes, pasteles, tortas y galletas) de características de alta aceptabilidad (Apaza, 2010).

Estos procesos tecnológicos para obtener harina pueden provocar una mejor digestibilidad y asimilación de sus nutrientes; su consumo puede realizarse junto a otros productos como agua y azúcar. Asimismo, la composición química de la harina de kañiwa varía en comparación al grano, conteniendo cada 100g de harina: proteínas 18.2%, grasas 7.5%, carbohidratos 61.8%, fibra cruda 8.9% y cenizas 3.6%, según lo evaluado por Hurtado & Rodríguez (2011).

## 2.3. TARWI (*Lupinus mutabilis*)

### 2.3.1. GENERALIDADES DEL TARWI

El tarwi pertenece al grupo de los lupinos y su crecimiento se extiende en los territorios de distintos países andinos. Su denominación es distinta según la región donde se cultiva este grano (León et al., 2007) conociéndose como: *Chocho* en el norte del Perú y Ecuador. Este presenta una estructura ramificada en los tallos y hojas; y un periodo de maduración largo. Otra denominación es la de *Tarwi* cuando es cultivado en el centro-sur del Perú, este posee poca ramificación y una maduración regular. Y también, *Tauri* para el altiplano de Perú y Bolivia, caracterizándose por un tamaño plantario en un rango de 1 a 1.4 metros, con tallos florescentes. Esta leguminosa es capaz de fijar nitrógeno atmosférico en cantidades apreciables de 100 kg/ha, restituyendo la fertilidad del suelo cultivada en el área andina desde épocas preincaicas. Se desarrolla en valles templados y áreas altoandinas. El cultivo y consumo del grano paulatinamente están siendo disminuidos en los países andinos, sobre todo en Colombia, Argentina y Chile, no solo por falta de difusión de las formas de uso, sino también por el desinterés de las instituciones encargadas de promover su consumo y cultivo, a pesar de su gran valor nutritivo y resistencia a factores adversos climáticos en las zonas donde se siembra (Jacobsen & Mujica, 2006).

### 2.3.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TARWI

Las semillas de tarwi son excepcionalmente nutritivas. Las proteínas y aceites constituyen más de la mitad de su peso, estudios realizados en más de 300 diferentes genotipos muestran que la proteína varía de 41- 51% y el aceite de 14-24% (León et al., 2007). En la Tabla 4 se presentan los componentes proximales del tarwi.

**Tabla 4: Composición proximal del grano de tarwi (g/100g)**

| Componentes proximales | Concentración (g/100g) |
|------------------------|------------------------|
| Humedad                | 7.7                    |
| Proteínas              | 44.3                   |
| Grasa total            | 16.5                   |

<<continuación>>

|               |      |
|---------------|------|
| Carbohidratos | 28.2 |
| Fibra         | 7.1  |
| Ceniza        | 3.3  |

FUENTE: León et al. (2007)

En lo que respecta al contenido de proteínas y aceites, Huayna (2016) ha establecido una correlación negativa entre proteína y aceite; mientras que la correlación entre proteína y componentes minoritarios como los alcaloides, es del tipo positiva.

### 2.3.3. HARINA DE TARWI

INIA (2015) menciona que, a nivel industrial, la harina de tarwi es procesada como insumo secundario en productos de panificación y repostería, empleando niveles de hasta un 15-30% de sustitución parcial, aportando contenido de grasas suficiente para elevar el poder calórico del alimento. En la siguiente tabla se expone la composición química de la harina de tarwi en 100 gramos.

**Tabla 5: Composición química de harina de tarwi (g/100g)**

| <b>Componente</b>            | <b>Concentración</b> |
|------------------------------|----------------------|
| Proteínas                    | 49.6g                |
| Grasas                       | 27.9g                |
| Carbohidratos<br>Totales     | 12.9g                |
| Carbohidratos<br>Disponibles | 12.9g                |
| Cenizas                      | 2.6g                 |
| Humedad                      | 7.0g                 |
| Fibra Cruda                  | 7.9 g                |
| Energía                      | Kcal                 |

FUENTE: Mamani & Molina (2016)

**a. Contenido de minerales**

El contenido de proteína en el tarwi es tan alto (Rodríguez, 2009) como en los granos de soya y su contenido varía entre 35 y 50%. Las globulinas corresponden a la mayor fracción proteica, siendo la albúmina las restantes. Además, las proteínas del tarwi tienen deficiencias en triptófano, y tienen mayor cantidad de aminoácidos azufrados que otras leguminosas (Repo-Carrasco, 1988).

**b. Contenido de carbohidratos**

El contenido de sacarosa y almidón es bajo, mientras que la proporción de oligosacáridos que no son aprovechables por el hombre es relativamente alta. Estos oligosacáridos son los causantes de la producción de flatulencias en el hombre y animales, caracterizada por la producción de gran cantidad de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. En este grupo de  $\alpha$ -galactósidos se han identificado los siguientes azúcares: rafinosa, estaquiosa, verbascosa y otros de peso molecular más alto. En todos ellos está presente la galactosa con 1, 2 y 3 moléculas respectivamente, unidas a la sacarosa con enlaces  $\alpha$  (1, 6) (Navarrete, 2010).

**c. Contenido de lípidos**

El tarwi posee un contenido de grasa (Vivanco, 2018) de 18 a 25%, este porcentaje hace factible para la extracción de aceite a nivel industrial. Sus lípidos constan de ácidos grasos insaturados y aproximadamente la mitad de estos están constituidos por de ácido oleico (36.1-54.6%), ácido linoléico (22.3-43.9%) y ácido linolénico (2.1- 2.7%).

**d. Contenido de minerales**

La cantidad de sustancias minerales en el tarwi se asemeja al de otras semillas de leguminosas, únicamente el contenido de fósforo y magnesio es un poco más elevado. La semilla de lupino representa, en total, una valiosa fuente de magnesio, fósforo y potasio para el hombre. Dado que el calcio se encuentra principalmente en la cáscara, mientras que el fósforo se halla en el núcleo. Hay que tener presente que la relación calcio-fósforo se altera tras el descascarado del grano (Navarrete, 2010).

## **2.4. GALLETAS**

En este tipo de productos se deseable un conjunto de características deseadas por parte del consumidor tales como consistencia y crocancia, esto se obtiene debido a la cocción de masas elaboradas con harina de trigo con o sin leudantes, leche, féculas, sal, huevo, agua, azúcar, mantequilla, grasas comestibles (Contreras, 2015). Así como también, debido a la inclusión de harinas sucedáneas que puedan elevar el valor nutricional de los insumos tradicionalmente empleados.

Las galletas deben ser debidamente almacenadas, siendo cubiertas por bolsas de polietileno, polipropileno, papel sulfito o materiales que mantengan las propiedades antes expuestas (Contreras, 2015).

Según lo indicado por DIGESA (2022), a través de la Norma Técnica Peruana - NTP 206.001, indica que la galleta es el producto elaborado a partir de harina de trigo fortificada con o sin adición de otras harinas, con o sin otros cereales, con o sin granos andinos, con o sin leguminosas, con o sin tubérculos, con o sin semillas (ajonjolí y/o chía, y/o anís, y/o linaza y/o castaña), grasas y/o aceites comestibles, azúcar, sal, agua, con o sin fortificación y otros ingredientes permitidos, debidamente autorizados de cuya mezcla luego del proceso de horneado, se obtiene un producto de consistencia suave o crocante. En adición, no se permite el uso de saborizantes para la elaboración de este tipo de productos.

### **2.4.1. REQUISITOS FISICOQUÍMICOS DE LAS GALLETAS**

La Norma Técnica Peruana NTP 2006.001 (Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería) (INACAL, 2016), señala que las galletas deben cumplir con los parámetros que se reportan Tabla 6:

**Tabla 6: Requisitos fisicoquímicos para productos de galletería**

| Características   | Especificación         | Referencia   |
|---|------------------------|--|
| Humedad (%)   | Menor a 14%            | Norma Sanitaria-<br>N°1020-<br>2010/MINSA  |
| Proteína (%)  | Mayor o igual a<br>8.5 | Dirigido al Programa<br>Nacional de<br>Alimentación<br>Escolar QALI<br>WARMA/MIDIS |
| Espesor (mm)  | Máximo 5               |  |
| Azúcares totales (g/100g)   | Según normativa        | Ley N° 30021 “Ley de   |
| Grasas saturadas (g/100g)   | vigente                | promoción de la  |
| Sodio (mg/100g)   |                        | alimentación   |
| Grasas trans (g ácidos<br>grasos trans/100 g<br>de materia grasa) |                        | saludable para<br>niños, niñas y<br>adolescentes<br>N°017-2017                     |

FUENTE: INACAL (2016)

#### 2.4.2. CLASIFICACIÓN DE LAS GALLETAS

Ibarra (2017) propone clasificar los productos galleteros según diversos criterios, como se expone en la siguiente tabla:

**Tabla 7: Clasificación de productos galleteros**

| Criterio de clasificación | Descripción                                   |
|---------------------------|---|
| Según el perfil de sabor  | Salada, dulce o combinación de estos niveles. |

<<continuación>>

|                           |   |
|---------------------------|---|
|                           | Simple: no hay adición de componentes posterior a la cocción.         |
| Tipo de presentación      | Rellenas: empleo de rellenos entre dos piezas o unidades de galletas. |
|                           | Revestidas: revestimiento decorativo en galletas simples o rellenas.  |
| Forma de comercialización | Envasadas: unidades en paquetes sellados en pocas cantidades.         |

FUENTE: Ibarra (2017)

### 2.4.3. MÉTODOS DE ELABORACIÓN DE GALLETAS

En la elaboración de galletas se emplean diversos métodos como los que expone Puntal (2009):

- **Creaming Up:** consiste en la mezcla de los insumos con la grasa (manteca vegetal en la mayoría de los casos), siguiendo de la adición de la harina con el objetivo de obtener una crema suave, manteniendo su consistencia hasta lograr una consistencia deseada.
- **Mezclado general:** todos los insumos son mezclados, incluyendo el agua (parte de esta para disolver los agentes químicos) hasta obtener una masa óptima.
- **Método de amasado:** consiste en dos etapas: grasa, azúcar, jarabes, harinas y ácidos mezclados hasta obtener una crema corta. Luego los agentes alcalinos, donde la harina es cubierta con la crema para actuar como protección ante el agua (formación de gluten).

### 2.5. DISEÑO DE MEZCLAS EN ALIMENTOS

Esta metodología busca evaluar ingredientes o componentes y combinarlos a partir de una serie de formulaciones a través de mezclas experimentales; permitiendo modificar la concentración de estos componentes (Dejaegher & Heyden, 2011). Este diseño permite también, analizar el efecto o los cambios que afecten las propiedades del producto final.

Los componentes generalmente evaluados en productos panificados y de repostería, han sido abordados con el objetivo de establecer una determinación a cantidades adecuadas u óptimas (Encina et al., 2019) de: harinas, hidro-coloides, enzimas, fortificaciones, entre otros. Se busca también, analizar variables respuestas como propias de este tipo de productos, tales como: humedad, color, composición proximal, y propiedades texturales.

### **2.5.1. ANÁLISIS DE FACTORES EN DISEÑO DE MEZCLAS**

Los componentes o ingredientes de un diseño de mezclas, está representado por factores, los cuales no presentan independencia en sus distintos niveles de inclusión (Montgomery, 2002), tal como se expone a continuación:

Sí:  $X_1, X_2, \dots, X_p$  expresa las proporciones de  $p$  componentes de una mezcla, entonces:

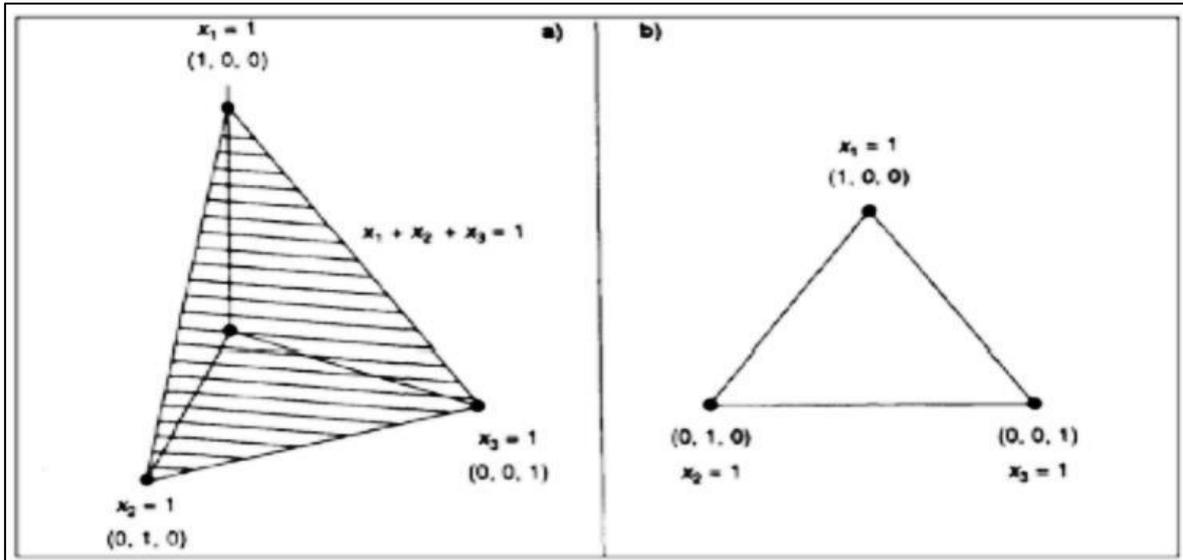
$$0 \leq X_i \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, p$$

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

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.

### **2.5.2. DISEÑO DE MEZCLA DE TRES COMPONENTES**

En el caso de una mezcla de tres componentes sus valores coordenados para su diseño pueden ser ubicados en un plano definido por la ecuación  $X_1 + X_2 + X_3 = 1$ . Además, la descripción geométrica del espacio de sus factores para  $K$  componentes es de un Simplex en  $(k-1)$  dimensiones, presentando el sistema Simplex de dos dimensiones para una mezcla de tres componentes como un triángulo equilátero, tal como se muestra a continuación en la Figura 1.



**Figura 1: Representación gráfica de los factores para a) una mezcla de tres componentes; b) un sistema Simple de tres componentes.**

FUENTE: Montgomery (2022)

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de los laboratorios de Investigación e Instrumentación y Análisis Físicoquímico de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias. Así como también, en los ambientes de laboratorio del Centro de Investigación e Innovación en Granos Andinos (CIINCA).

#### **3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS**

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

- Harina de trigo, variedad comercial.
- Harina de kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*): variedad Illpa-INIA; Estación Experimental INIA de la Región Puno.
- Harina de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet): variedad INIA-Huancayo, procedente de la Región Junín.

##### **3.2.2. INSUMOS**

- Agua de mesa, San Luis S.A. ®
- Azúcar blanca refinada, Corporación Líder S.A. ®
- Bicarbonato de amonio ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ), Fratello S.A. ®
- Bicarbonato de sodio de grado alimentario ( $\text{NaHCO}_3$ ), Fratello S.A. ®
- Cloruro de Sodio USP, Fratello S.A. ®
- Jarabe de maíz de alta fructosa (HFCS 42%), Spitze Apimás S.A.C. ®
- Leche en polvo, Dairy America ®
- Manteca vegetal, FAMOSA ®

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

#### **3.3.1. MATERIALES**

- Bowls de acero inoxidable
- Filtros de jeringa PVDF 0.20  $\mu\text{m}$
- Gradilla de Tubos Falcon
- Jeringas de laboratorio
- Micropipeta Eppendorf 1-20  $\mu\text{l}$
- Micropipeta Eppendorf 100-1000  $\mu\text{l}$
- Micropipeta Eppendorf 1000-5000  $\mu\text{l}$
- Moldes de Metal Salva
- Papel Tissue
- Papel Aluminio
- Rodillo de Madera
- Tips de Micropipeta 20-100  $\mu\text{l}$
- Tips de Micropipeta 100-1000  $\mu\text{l}$
- Tips de Micropipeta 0.5-5 ml
- Tiras de Parafilm
- Tubos Eppendorf 2 ml
- Tubos de Centrifuga Falcon 15 ml
- Vasos precipitados 50 ml
- Vasos precipitados 250 ml

#### **3.3.2. EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

- Analizador de Humedad (OHAUS, MB45 Basic, Suiza)
- Analizador Rápido de Viscosidad (PERTEN, RVA4500, Suecia)
- Balanza de Precisión (SARTORUS, ELT-1001, España)
- Balanza Analítica (OHAUS, PA224, Italia)
- Batidora de Pedestal (KITCHENAID, 5KPM5EER, Estados Unidos)
- Centrifugadora (MICROYN, Estados Unidos)
- Colorímetro (KONICA MINOLTA, Modelo CR- 400/410, Japón)

- Escáner de Impresora (HP COLOR LASER, JetPro MFP, Estados Unidos)
- Espectrofotómetro (BOECO, Japón)
- Horno Eléctrico (HOLSTEIN, HH-091, Estados Unidos)
- Laminadora (PASTALINDA, Argentina)
- Medidor de Actividad de Agua (AQUALAB, Series 3TE, España)
- Texturómetro (INSTRON 3345, Estados Unidos)

### **3.3.3. REACTIVOS**

- Solución de 2,2-diphenyl-1-picrilhidrazilo (DPPH)
- Alcohol Etílico 96°GL
- Metanol Grado HPLC
- Solución Bicarbonato de Sodio (NaHCO<sub>3</sub>) 0.1 N

### **3.3.4. PROGRAMAS**

- Software Design Expert versión 9.0.6.2. (Estados Unidos)
- Software Image J versión 1.51j8 (Estados Unidos)
- Paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI (Estados Unidos)

## **3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

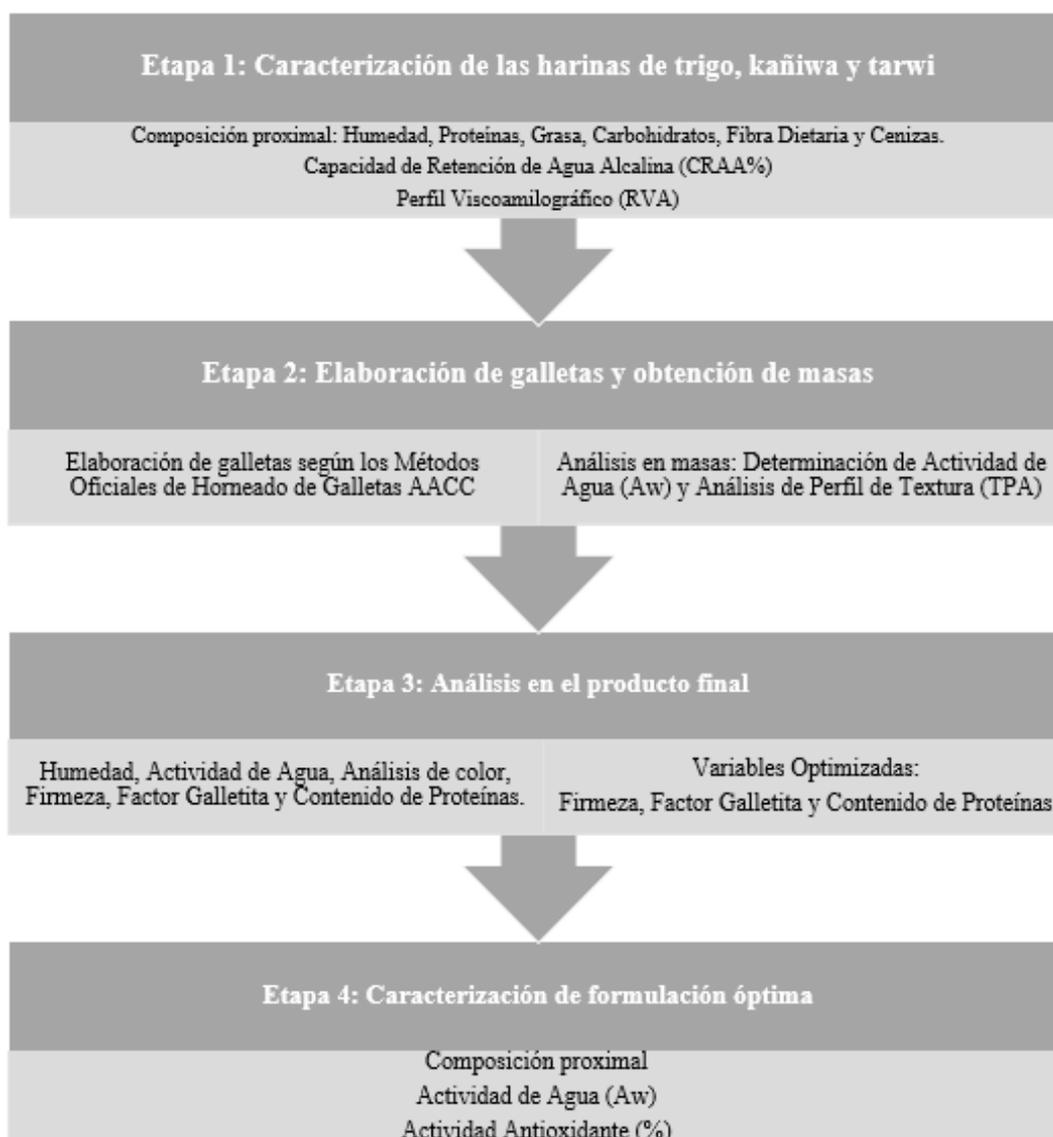
### **3.4.1. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN**

Este trabajo se llevó a cabo en cuatro etapas; la primera de ellas consistió en la caracterización proximal de las harinas (trigo, kañiwa y tarwi) y los ensayos de capacidad de retención de agua alcalina y perfil viscoamilográfico.

En la segunda etapa se realizó la elaboración de las galletas, siguiendo el diseño de mezclas basado en doce formulaciones, tratamientos que incluyen la formulación control o testigo, todo ello siguiendo las restricciones o rangos establecidos para cada tipo de harina (ver Tabla 8). Además, se realizó el análisis de las masas, a través del perfil de textura y contenido de humedad.

A continuación, en la tercera etapa se evaluaron las variables respuesta: proteínas, firmeza y factor galletita para los tratamientos de galletas obtenidos, con el objetivo de elegir una(s) formulación(es) óptima(s). En la cuarta y última etapa, se caracterizó la formulación óptima mediante la determinación de proteínas, actividad de agua y actividad antioxidante (%).

En la Figura 2 se exponen las etapas de la investigación, las cuales se basan en la caracterización de harinas, masas y galletas y la elaboración de estas.



**Figura 2: Etapas de la investigación**

### **3.4.2. ELABORACIÓN DE GALLETAS CON SUSTITUCIÓN**

Las galletas fueron formuladas basándose en el método AACC 10-53.01 (1999) y AACC 10-50.05 (2000), con algunas modificaciones. Se emplearon insumos tales como: sucrosa (20%), leche en polvo desgrasada (0.5%), cloruro de sodio (0.6%), bicarbonato de sodio (0.5%), bicarbonato de amonio (0.2%), manteca vegetal (19.6%), HFCS (0.7%) y cantidad de agua sugerida según la humedad de cada formulación. El procedimiento de elaboración de las galletas con sustitución se llevó a cabo de la siguiente manera:

#### **a. Pesado**

Se pesó las cantidades correspondientes a los porcentajes de formulación tanto de insumos secos (azúcar, leche en polvo, sal, bicarbonato de sodio, bicarbonato de amonio) y líquidos (jarabe de maíz, agua) en los respectivos envases o recipientes para uniformizar la mezcla de estos.

#### **b. Mezclado**

Esta operación se realizó en tres fases: Un primer mezclado en el cual se adicionó la manteca vegetal e insumos secos (sal, leche en polvo, bicarbonato de sodio y bicarbonato de amonio) a velocidad baja de la batidora durante tres minutos hasta lograr integrar previamente la manteca con estos polvos. Luego, se procedió a un segundo mezclado durante dos minutos a velocidad media y raspado cada minuto, donde se adicionó el azúcar, jarabe de maíz y agua, creando una emulsión entre el contenido de grasa y el agua adicionada. Finalmente, se agregó las harinas a velocidad media y alta durante tres minutos, realizando un raspado cada  $\frac{1}{2}$  minuto; permitiendo integrar todo en una masa determinada (ver Anexo 4).

#### **c. Amasado**

Se esparció suavemente la masa del tazón mezclador y se dividió en un número determinado de porciones de masa (relativamente iguales). Se redondeó cada porción de para proceder al laminado.

**d. Laminado**

Se realizó el laminado de las porciones de masa en una máquina laminadora “Pastalinda” ajustada a un espesor de 4.5 mm. Esto se realizó en tres porciones, logrando ocupar las bandejas de horneado (capacidad de nueve unidades).

**e. Cortado**

Se realizó el cortado para obtener unidades de galletas de 60 mm de diámetro interno hasta ocupar las bandejas para el horneado. Se desechará el exceso de masa y se retirará el cortador para un nuevo lote.

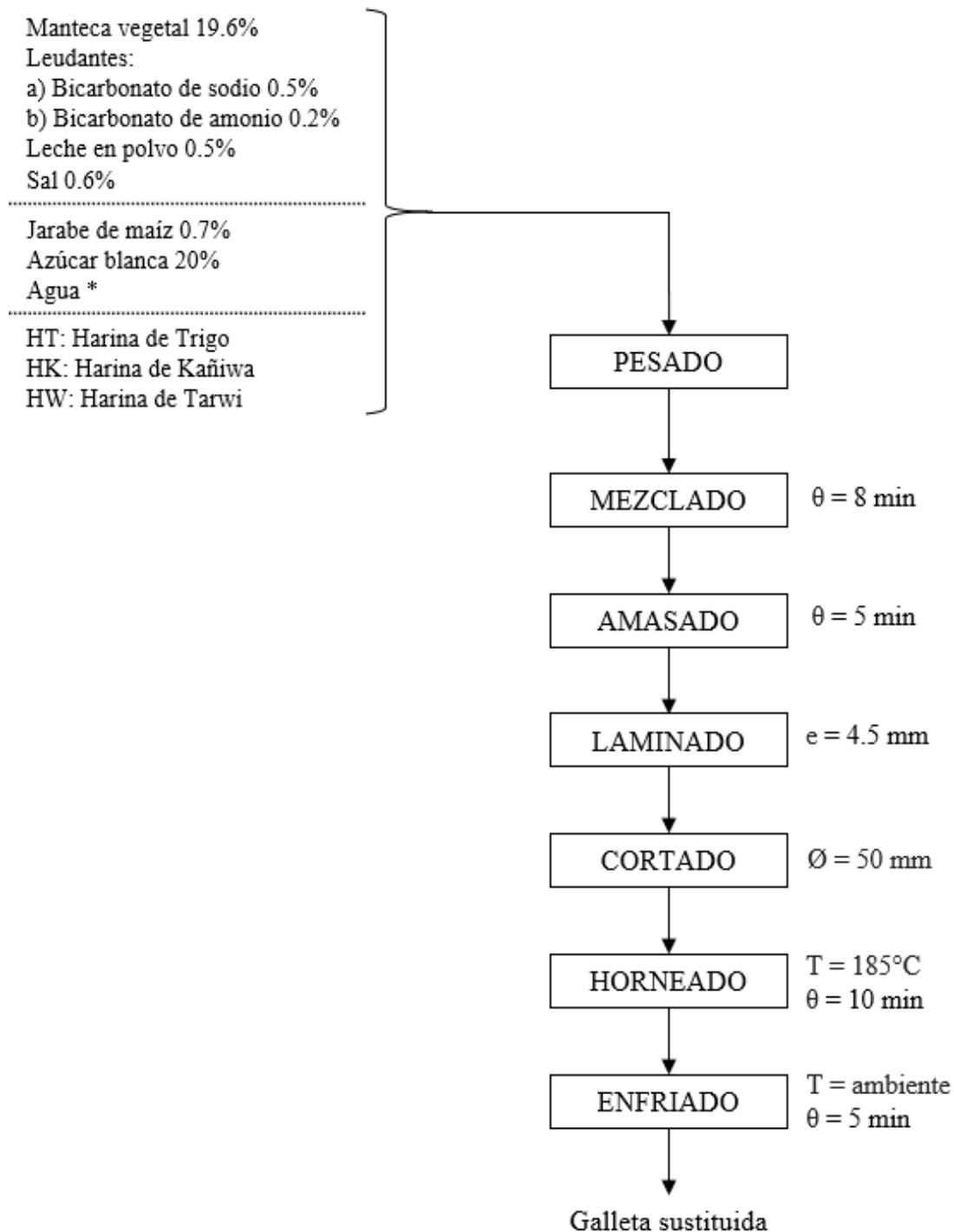
**f. Horneado**

Después de disponer las unidades en las bandejas, se ingresaron al horno a una temperatura de 185°C (365°F) durante 10 minutos. Se realizó el “seteo” de la temperatura de horneado deseada en paralelo a la fase final del amasado de las mezclas.

**g. Enfriado y Reposo**

Al retirar las galletas del horno, se procedió al enfriando durante cinco minutos y se retiraron las unidades. Posteriormente, las galletas reposaron a temperatura ambiente durante un período de 30 minutos.

En la Figura 3 se muestra el diagrama de flujo de elaboración de las galletas según lo expuesto anteriormente:



**Figura 3: Diagrama de flujo de elaboración de las galletas sustituidas parcialmente. \*Cantidad de agua empleada según % de humedad promedio de harina**

FUENTE: Adaptado de AACC 10-53.01 (1999) y AACC 10-50.05 (2000)

### 3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó la metodología de diseño de mezclas empleando el software estadístico *Design-Expert 9.0*®, para lo cual se determinaron las restricciones mínimas y máximas en los tres componentes estudiados (ver Tabla 7). Dichas restricciones se obtuvieron a partir de algunas investigaciones de referencia que se aplicaron para la elaboración de galletas con sustitución de harina de trigo.

En lo que respecta a la harina de kañiwa, Encomenderos (2019), evaluó el efecto del nivel de inclusión de esta harina cercano al 30%, en contraste a lo realizado en la presente investigación, donde se evaluaron niveles hasta de 40% de esta harina sucedánea en función a lo desarrollado en las pruebas experimentales. Por el lado de la harina de tarwi, se evaluaron niveles de inclusión en un rango de 10 a 20%, con el objetivo del aprovechamiento del alto contenido proteico de este tipo de harina (García, 2016; Puma Isuiza *et al.*, 2018). De esta manera, se establecieron los porcentajes de sustitución buscando obtener un tratamiento óptimo con a partir de estos componentes.

En la Tabla 8 se muestran los rangos de nivel de sustitución de harina de trigo por las harinas sucedáneas.

**Tabla 8: Rangos de incorporación empleados con harinas sucedáneas**

| Tipo de harina        | Nivel de incorporación (%) |
|-----------------------|----------------------------|
| Harina de trigo (HT)  | 40-70                      |
| Harina de kañiwa (HK) | 20-40                      |
| Harina de tarwi (HW)  | 10-20                      |

Con la finalidad de evaluar el efecto simultáneo de la mezcla de los componentes empleados (kañiwa y tarwi) en las galletas elaboradas a base de harina de trigo, se aplicó un diseño de mezclas, con restricciones mínimas (referido al mínimo porcentaje de inclusión que se

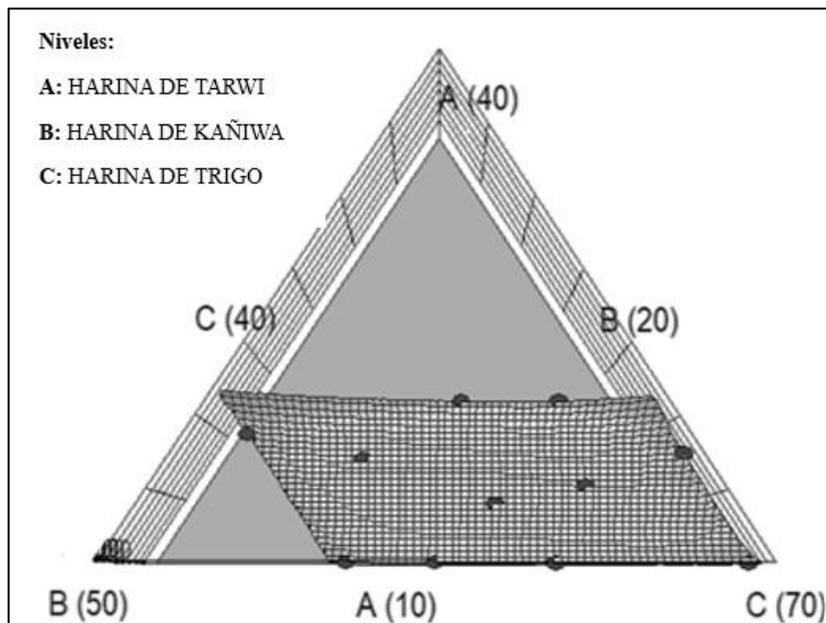
empleó de cada harina) y máximas (referido al máximo porcentaje de inclusión que se empleó de cada harina).

En la Tabla 9 se exponen las proporciones de los tratamientos formulados de las galletas de acuerdo con el diseño de mezcla.

**Tabla 9: Formulaciones del diseño de mezclas de estudio**

| Formulación | Nivel de sustitución parcial (%) |                       |                      |
|-------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------|
|             | Harina de trigo (HT)             | Harina de kañiwa (HK) | Harina de tarwi (HW) |
| F0          | 100                              | 0                     | 0                    |
| F1          | 65                               | 20                    | 15                   |
| F2          | 40                               | 40                    | 20                   |
| F3          | 60                               | 24                    | 16                   |
| F4          | 51                               | 29                    | 20                   |
| F5          | 50                               | 40                    | 10                   |
| F6          | 45                               | 40                    | 15                   |
| F7          | 50                               | 34                    | 16                   |
| F8          | 60                               | 30                    | 10                   |
| F9          | 55                               | 29                    | 16                   |
| F10         | 70                               | 20                    | 10                   |

En la Figura 4 se muestra la distribución de las mezclas a distintos niveles de sustitución de harina de trigo (tal como se expuso anteriormente en la Tabla 9) por harinas sucedáneas (harina de kañiwa y harina de tarwi).



**Figura 4: Distribución de los componentes de mezcla**

### 3.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN

#### 3.6.1. ANÁLISIS EN HARINAS Y MEZCLAS

##### a. Caracterización Proximal

Se realizó la caracterización proximal de las harinas según los siguientes métodos: el contenido de humedad de las harinas se determinó según el método AACC 44-19 (2000), en donde una muestra de  $2 \text{ g} \pm 0.001$  se seca en una estufa durante dos horas a  $135^{\circ}\text{C}$ ; el contenido de proteínas se determinó por el método AACC 46-12-01, método de digestión de Kjeldahl mejorado (2000), de lípidos por medio del AACC 30-25.01 (2000), cenizas por calcinación en mufla a  $550^{\circ}\text{C}$  (AACC 08-01, 2000) y fibra dietaria por un método enzimático (AACC 32-07, 2000). Finalmente, el contenido de carbohidratos fue cuantificado por cálculo indirecto mediante la ecuación siguiente:  $\%CT = 100 - (\%H + \%G + \%C + \%F + \%Pc)$  donde,  $\%CT$  = porcentaje de carbohidrato total,  $\%H$  = porcentaje de humedad de la muestra;  $\%G$  = porcentaje de grasa;  $\%C$  = porcentaje de ceniza;  $\%F$  = porcentaje de fibra cruda y  $\%Pc$  = porcentaje de proteína.

### **b. Capacidad de Retención de Agua Alcalina (%CRAA)**

Esta prueba se realizó según lo descrito por el método AACC 56-10.02 (2009), el cual es aplicable para predecir la calidad de la harina para la elaboración de galletas. La capacidad de retención de agua alcalina (%CRAA) se calculó como la cantidad de agua alcalina (solución de bicarbonato de sodio 0.1 N) retenida por la harina a 14% de humedad después una etapa de centrifugación. En este ensayo se empleó el agua alcalina entre 0.95 g a 1 g de harina. El porcentaje de CRAA se calculó según la siguiente ecuación:

$$\%CRAA = \left[ \frac{\text{Peso tubo, tapa y gel} - \text{Peso tubo y tapa}}{\text{Peso de harina}} - 1 \right] \times \left[ \frac{86}{100 - \text{Humedad harina}} \right] \times 100$$

### **c. Determinación del Perfil Viscoamilográfico (RVA)**

El comportamiento viscoamilográfico de las harinas y mezclas de harinas fue evaluado según lo establecido en AACC 76-21.01 (1999), empleando un equipo RVA (Rapid Visco Analyzer). Las muestras fueron pesadas (3.5 g) y se dispersaron en 25 ml ± 0.1 ml de agua destilada hasta alcanzar el peso total de 30 gramos. Este análisis de empaste fue realizado mediante la programación *Standard I set-up* y el desarrollo de las curvas se registró mediante el software *Thermocline Windows* © TCW. Se aplicaron tres replicaciones por cada muestra, obteniendo los parámetros de propiedades de empaste tales como: viscosidad máxima o pico de viscosidad (en cP), viscosidad final (en cP), viscosidad “breakdown” y setback total.

## **3.6.2. ANÁLISIS EN MASAS**

### **a. Actividad de Agua (Aw)**

La determinación actividad de agua se llevó según lo adaptado de Machado-Alencar et al. (2015). La actividad acuosa de una porción de masa se determinó empleando un equipo de medición: AquaLab 4TE Decagon, a condiciones de 25°C.

### **b. Análisis de Perfil de Textura (TPA)**

Este ensayo se llevó a cabo preparando las masas de las galletas en muestras cilíndricas (seis piezas) con un diámetro de 5 cm y espesor de 1 cm. Los parámetros texturales fueron

evaluados empleando un equipo texturómetro *Instron (modelo 3365)*, donde los discos de masa fueron sometidos a dos compresiones sucesivas con un periodo de reposo entre ambas (Bourne, 2002), hasta un 40% de la altura original (Correa *et.al.*, 2010) por medio de un émbolo cilíndrico (diámetro=8 cm). Las curvas fueron obtenidas a una velocidad de compresión de 1 mm/s (Correa et al., 2011) determinando parámetros como dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad y gomosidad.

### **3.6.3. ANÁLISIS EN GALLETAS**

#### **a. Determinación de Humedad**

La humedad de las galletas se determinó según el método AACC 44-19 (2000), en donde una muestra de  $2 \text{ g} \pm 0.001$  se seca en una estufa durante dos horas a  $135^{\circ}\text{C}$ . Esto se efectuó por triplicado para cada uno de los tratamientos del diseño de mezclas.

#### **b. Actividad de Agua ( $A_w$ )**

Se determinó la actividad de agua de las galletas, adaptado de Machado-Alencar et al. (2015). La actividad acuosa de las galletas fue medida a  $20^{\circ}\text{C}$  empleando un AquaLab 4TE Decagon.

#### **c. Determinación de Color**

El color de la superficie de las galletas fue determinado según lo indicado por Motta-Romero *et al.* (2017), empleando los parámetros o coordenadas de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , según el sistema CIELab de espacio de color a través de un colorímetro CM-5 Konica Minolta, el cual se calibró previo a cada medida utilizando una referencia de placa de cerámica blanca ( $L^*=94.57$ ,  $a^*=-0.46$  y  $b^*=3.88$ ).

#### **d. Determinación de Firmeza**

Se empleó el texturómetro *Instron modelo 3365*. Cada galleta se dispuso sobre una base metálica ubicada en el centro del texturómetro y se aplicó una sonda tubular (diámetro=3.5mm) a una velocidad de 1mm/s en el punto medio de la superficie de la galleta,

hasta causar la fractura de la misma (Duta y Culetu, 2015). Se determinó la fuerza máxima requerida para quebrar las galletas (en seis unidades), expresada en gramos-fuerza.

**e. Factor Galletita**

Este índice se calculó matemáticamente como la relación entre el diámetro y la altura (espesor) de seis unidades de galletas seleccionadas al azar en una misma formulación (León *et al.*, 1996). Se midió el ancho o espesor de las galletas después del enfriado y reposo de estas; colocando las galletas “borde a borde”, luego se giraron las unidades un cuarto de vuelta para volver a medir, registrando el espesor como la media de estas cuatro mediciones. Al obtener un valor más alto de este test predictivo, mayor será la calidad galletera (Colombo *et al.*, 2008).

### **3.6.4. ANÁLISIS EN FORMULACIÓN ÓPTIMA**

**a. Composición Proximal**

Se realizó una caracterización proximal de la formulación óptima según los siguientes métodos: la humedad, según el método AACC 44-19 (2000), en donde una muestra de  $2 \text{ g} \pm 0.001$  se seca en una estufa durante dos horas a  $135^{\circ}\text{C}$ ; el contenido de proteínas se determinó por el método AACC 46-12-01 (2000), de lípidos por medio del AACC 30-25.01 (2000), cenizas por calcinación en mufla a  $550^{\circ}\text{C}$  (AACC 08-01, 2000) y fibra dietaria por un método enzimático (AACC 32-07, 2000). Finalmente, el contenido de carbohidratos fue cuantificado por diferencia total.

**b. Actividad de Agua ( $A_w$ )**

Se determinó la actividad de agua de la formulación óptima, adaptado de Machado-Alencar *et al.* (2015). La actividad acuosa se midió a  $25^{\circ}\text{C}$  empleando un AquaLab 4TE Decagon.

**c. Actividad Antioxidante (%)**

La actividad antioxidante fue medida según lo propuesto por Brand-Williams *et al.* (1995), con algunas modificaciones. Las muestras de galletas de 500 mg fueron molidas y extraídas

con 5 ml de alcohol etílico durante 2 h y se centrifugaron a 3000 g durante 10 min. El sobrenadante (100 µl) se separó y se hizo reaccionar con 3.9 ml de  $6 \times 10^{-5}$  mol / l de solución de 2,2 difenil-1 picrilhidrazilo (DPPH). Se realizó lectura de absorbancia del extracto a 515 nm L a 0 y 30 minutos usando metanol como blanco. La actividad antioxidante se calculó como %decoloración, según la ecuación siguiente:

$$\%Actividad Antioxidante = \left[ 1 - \left( \frac{Amuestra\ t: 30}{Amuestra\ t: 0} \right) \right] \times 100$$

### 3.6.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables medidas en las harinas, masas y galletas, fueron evaluadas a través del análisis de varianza de una vía (*one-way* ANOVA), empleando el software *Statgraphics Centurion XVI* (Statpoint Technologies, Inc. Virginia, USA) trabajando a un nivel de significancia del 5% ( $\alpha=0.05$ ), donde el factor fue la formulación y el nivel del factor fue el tipo de formulación (según los niveles de sustitución antes determinados). Para un análisis de varianza significativo ( $p<0.05$ ), se procedió a aplicar la prueba de comparación de múltiples rangos o test de Tukey HSD.

Para evaluar el efecto de las harinas de trigo y sucedáneas en las galletas, se empleó el software *Design Expert versión 9.0.6.2 MN* (StatEase Inc., Minneapolis, USA) con la finalidad de determinar el modelo matemático de mejor ajuste de los resultados experimentales evaluados en las 11 formulaciones analizadas, los cuales fueron evaluados mediante el análisis de varianza (ANOVA), y en el caso de presentar diferencias significativas ( $p<0.05$ ), se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey HSD a un nivel de significancia del 5%.

En lo que respecta a la optimización del diseño de mezclas, este procedimiento se llevó a cabo con el objetivo de elegir una formulación óptima, donde los criterios de optimización se basaron en tres atributos de calidad de las galletas representados por variables respuestas tales como: factor galletita (maximización), firmeza (maximización) y contenido de proteínas (maximización). A partir de ello, cada variable respuesta ( $Y_n$ ) se convirtió en una función de deseabilidad individual ( $D_n$ ) que varía de 0 a 1; es decir, para encontrar los niveles de factor que llevó a un valor de variable respuesta máximo, fue necesario establecer  $d_n = 1$

para valores altos y  $d_n = 0$  para valores bajos de la variable respuesta. Por otro lado, para un valor mínimo de variable respuesta, se estableció  $d_n = 0$  para valores altos y  $d_n = 1$  para valores bajos. Con respecto a la función de la deseabilidad, Encina-Zelada et al. (2019) reportaron la siguiente expresión:

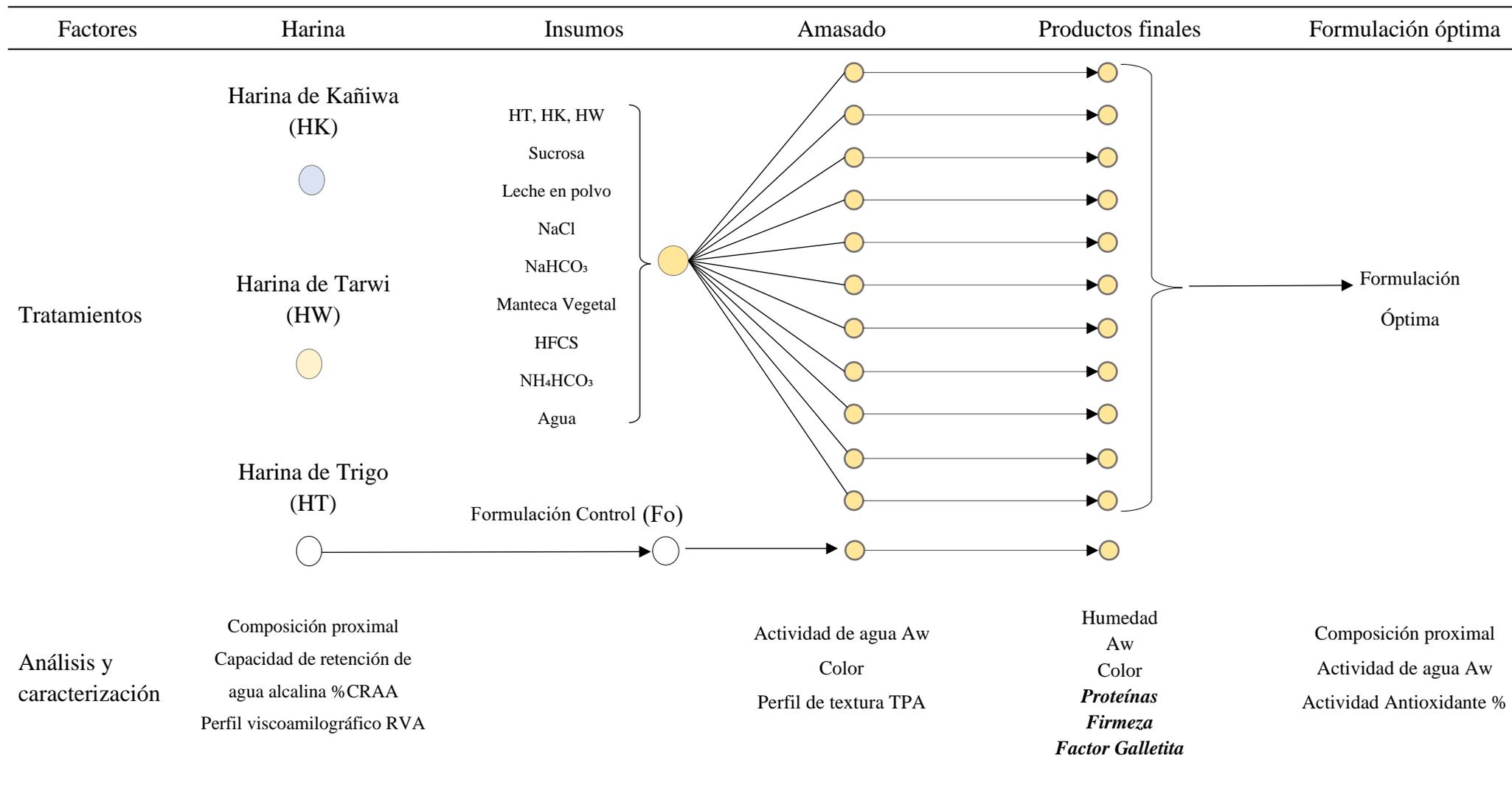
$$D_n = \sqrt[n]{d_1 x d_2 x d_3 x \dots x d_n}$$

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.

En la fase de 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.

En la Tabla 10 se expone el esquema del diseño experimental a lo largo de las etapas de formulación, obtención del producto final y la caracterización de la formulación óptima:

**Tabla 10: Esquema del diseño experimental para la evaluación del efecto de las harinas sucedáneas en las galletas**



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS Y MEZCLAS

Se realizó análisis en los tres tipos de harinas (trigo, kañiwa y tarwi) y en las formulaciones según los niveles de sustitución del diseño de mezclas ( $F_0, F_1, F_2, \dots, F_9, F_{10}, F_{11}$ ). Las harinas fueron caracterizadas a nivel proximal, en tanto que, las pruebas de capacidad de retención de agua alcalina y perfil viscoamilográfico fueron determinadas en las formulaciones.

#### 4.1.1. ANÁLISIS PROXIMAL

Con relación al análisis proximal de las harinas, la Tabla 11 reporta los valores promedio para cada componente proximal (tales como: grasa total, proteínas, cenizas, carbohidratos y fibra dietaria) de las harinas de trigo y sucedáneas (kañiwa y tarwi) del diseño de mezclas expuesto.

**Tabla 11: Componentes proximales de las harinas de trigo, kañiwa y tarwi**

| Componente Proximal (%)      | Harina de trigo    | Harina de kañiwa   | Harina de tarwi    |
|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Humedad                      | 13.33              | 11.50              | 6.72               |
| Grasa total                  | $1.96 \pm 0.43^a$  | $14.25 \pm 0.02^b$ | $22.16 \pm 0.30^c$ |
| Proteínas totales            | $14.50 \pm 0.61^a$ | $24.58 \pm 0.10^b$ | $55.22 \pm 0.30^c$ |
| Cenizas                      | $0.90 \pm 0.01^a$  | $3.85 \pm 0.00^b$  | $1.75 \pm 0.02^c$  |
| Carbohidratos <sup>(1)</sup> | $82.64 \pm 0.75^a$ | $57.32 \pm 0.18^b$ | $20.86 \pm 0.42^c$ |

<<continuación>>

|                |           |            |             |            |
|----------------|-----------|------------|-------------|------------|
| Fibra dietaria | Soluble   | 0.25 ±0.00 | 2.81 ±0.0   | 3.48 ±0.0  |
|                | Insoluble | 1.90 ±0.0  | 13.09 ±0.03 | 12.11 ±0.0 |

Letras diferentes en superíndice dentro de una misma fila muestran diferencias significativas entre valores ( $p < 0.05$ ). Los datos se indican como la media de dos repeticiones ( $n=2$ )  $\pm$  desviación estándar (DE). <sup>(1)</sup> Calculado por diferencia.

El contenido de proteínas de las harinas fue de 14.5%, 24.6% y 52.2% para harina de trigo, kañiwa y tarwi, respectivamente; en donde se observó que dichos valores en harinas sucedáneas fueron superiores a lo obtenido en la harina de trigo. La harina de kañiwa destaca por un perfil de proteínas alto y una composición balanceada de aminoácidos (Repo-Carrasco et al. 2003) para distintas variedades o ecotipos. Es posible encontrar un amplio rango de concentración de proteínas; siendo el porcentaje de la presente investigación (24.6%), mayor a lo reportado por Steffolani *et al.* (2013) para distintos ecotipos de kañiwa, obteniendo valores máximos de 17.6%; en tanto, Rosell *et al.* (2009) reportó valores de 14.8% para harina de kañiwa variedad Cupi. Bustos *et al.* (2019) determinaron composiciones máximas de 16.4% de proteínas para variedades de kañiwa altiplánicas. En lo correspondiente a la harina de tarwi, se obtuvo un porcentaje de proteínas cercano (55.22%) a lo reportado por Repo-Carrasco et al. (2020) quienes trabajaron con la variedad Blanco de Yunguyo (53%) y menor a 57.4% para variedades locales de tarwi estudiadas por Rosell et al. (2009).

En lo que respecta al contenido de grasas en las harinas estudiadas, se presentaron 1.9%, 14.3% y 22.2% para la harina de trigo, kañiwa y tarwi, respectivamente. Las harinas sucedáneas superaron en gran medida al trigo ( $p < 0.05$ ), siendo la harina de tarwi la de mayor concentración grasa. La concentración de grasa de la harina de tarwi empleada en este estudio fue menor en comparación a lo reportado por Rosell et al. (2009) y Repo-Carrasco et al. (2020), quienes obtuvieron porcentajes promedio de 25.4% y 22%, respectivamente.

El contenido de carbohidratos en la harina de trigo fue superior (82.6%) en comparación a las harinas sucedáneas (57.3% y 20.9% para harina de kañiwa y tarwi, respectivamente). El promedio de carbohidratos obtenido fue menor a lo reportado por Luna-Mercado & Repo-Carrasco-Valencia (2021), quienes trabajaron en la caracterización de dos variedades de

kañiwa, en donde la harina del tipo Illpa Inia presentó un 65.3% promedio, mientras que la variedad Cupi, un 66.4% de carbohidratos, y a su vez menor a lo determinado por Steffolani *et al.* (2013), en un rango de 61.8% a 65.1%. En la harina de tarwi, se observó que el valor obtenido fue mayor a lo reportado por Salazar *et al.* (2021) quienes reportaron un 7% de carbohidratos totales promedio en la harina de *Lupinus mutabilis sweet*; a diferencia de lo obtenido por Gross *et al.* (1988) a un nivel 28% para tarwi variedad Inti.

Los valores de fibra dietaria total que aporta la inclusión de kañiwa y tarwi fue de 16% y 15.6%, respectivamente. La fibra dietaria presente en la harina de kañiwa se mostró menor al ser comparada con valores de 16.4% y 25.8% provenientes de dos distintos ecotipos de kañiwa (Bustos *et al.* 2019) y un contenido de 16.1% para variedades comerciales provenientes de este grano (Ramos Diaz *et al.* 2015). De otro lado, el contenido de fibra dietaria de la harina de tarwi se presentó en mayor porcentaje comparado con Vidaurre-Ruiz *et al.* (2019) y Repo-Carrasco *et al.* (2020), los cuales reportaron valores de 8.8% y 9%, respectivamente. La presencia de fibra dietaria en la formulación de estos productos, incide en su valor nutricional, incrementando el contenido de fibra resultante, comparado con productos que son elaborados a base de trigo. El contenido de fibra dietaria presenta posibles efectos beneficiosos en la salud, reduciendo el nivel de colesterol en la sangre y mejorando los procesos digestivos (Repo-Carrasco *et al.* 2003).

#### 4.1.2. CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA ALCALINA (%CRAA)

La capacidad de retención de agua alcalina fue medida en cada formulación en relación con la humedad promedio correspondiente. En la Tabla 12 se muestran las medias de humedad y porcentaje de retención de agua alcalina de cada tratamiento.

**Tabla 12: Valores medios de capacidad de retención de agua alcalina de harinas y mezclas**

| Formulación           | Humedad (%) | CRAA (%)                |
|-----------------------|-------------|-------------------------|
| (100% T)              | 11.60       | 73.5 ± 0.3 <sup>a</sup> |
| (65% T+ 20% K +15% W) | 10.40       | 78.4 ± 0.2 <sup>h</sup> |

<<continuación>>

|                           |       |                          |
|---------------------------|-------|--------------------------|
| (40% T + 40% K + 20% W)   | 10.04 | 85.6 ± 0.3 <sup>i</sup>  |
| (60% T + 24% K + 16% W)   | 10.25 | 79.7 ± 0.6 <sup>de</sup> |
| (51% T + 29% K + 20% W)   | 10.03 | 81.5 ± 1.9 <sup>f</sup>  |
| (50% T + 40% K + 10% W)   | 10.08 | 78.8 ± 0.2 <sup>cd</sup> |
| (45% T + 40% K + 15% W)   | 9.86  | 76.8 ± 0.2 <sup>b</sup>  |
| (50% T + 34% K + 16% W)   | 9.98  | 81.1 ± 0.3 <sup>ef</sup> |
| (60% T + 30% K + 10% W)   | 10.46 | 76.4 ± 1.0 <sup>b</sup>  |
| (55% T + 29% K + 16% W)   | 10.11 | 77.5 ± 0.5 <sup>bc</sup> |
| 0 (70% T + 20% K + 10% W) | 10.62 | 76.3 ± 0.4 <sup>b</sup>  |
| 1 (60% T + 20% K + 20% W) | 10.18 | 83.4 ± 0.6 <sup>g</sup>  |

Letras diferentes en superíndice dentro de una misma columna muestran diferencias significativas entre valores ( $p < 0.05$ ). Los datos se indican como la media de tres repeticiones ( $n=3$ ) ± desviación estándar (DE).

Los valores promedio de capacidad de retención de agua alcalina (en %) obtenidos de las formulaciones evaluadas variaron entre 73.5% (F0) y 85.6% (F2), donde se presentaron diferencias significativas entre la formulación control F<sub>0</sub> y el resto de las formulaciones. No se presentaron diferencias significativas entre las formulaciones F6, F8 y F10, las mismas que tienen en común bajos porcentajes de harina de tarwi en su composición. Así también, los tratamientos F3, F4 y F7 son estadísticamente semejantes, presentando más del 40% de sustitución de harina de trigo y a su vez, mayor porcentaje de harina de tarwi.

El %CRAA o IRAA, es un índice empleado para seleccionar harinas de buena calidad para la elaboración de galletas y además sirve como referencia en la extensibilidad de las galletas ya que se traduce en diámetros de mayor medida (Gaines, 2000; Torri *et al.*, 2003). A su vez, a medida que los valores de CRAA aumentan, la calidad harinera del o los componentes

evaluados es menor (León *et al.*, 1996). Entre los valores de mayor retención de agua alcalina, se encuentran las formulaciones F2, F4, F7 y F<sub>11</sub> las cuales corresponden a niveles de sustitución de harina de trigo mayores al 40%, en donde los porcentajes de harina de kañiwa varían de 20 a 40% y de tarwi del 16 al 20%.

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

La temperatura de pasta (en °C) corresponde a la temperatura a partir de la cual la viscosidad comienza a aumentar durante el periodo de calentamiento del almidón presente en las muestras (Hoseney y Rogers, 1990). El tiempo pico de viscosidad (en min) corresponde al instante en el que se manifiesta el pico de viscosidad, a diferencia de la viscosidad máxima o pico de viscosidad (en cP), la cual representa el valor máximo de viscosidad posterior al proceso de calentamiento durante el análisis.

La viscosidad mínima o holding strength (en cP) es el valor más bajo de viscosidad posterior al alcance de viscosidad máxima de la suspensión, justo antes de un segundo incremento de viscosidad y esta última es importante para la deducción del breakdown o estabilidad en retrogradación del almidón (en cP), el cual se calcula como la diferencia entre el pico de viscosidad y la viscosidad mínima a la temperatura máxima de análisis. Adicionalmente, durante el periodo de enfriamiento se determinaron: la viscosidad final (en cP) y el setback total o asentamiento de empaste del almidón (en cP), el cual se calcula como la diferencia entre la viscosidad final y viscosidad mínima de la pasta (Saunders *et al.*, 2011; Wang y Weller, 2006).

La Tabla 13 reporta los valores promedios de viscosidad para cada formulación, donde se observa que todas las propiedades presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) debido a la interacción de las harinas sucedáneas (kañiwa y tarwi) y la harina de trigo. Se evaluó dicha interacción por intermedio del análisis viscoamilográfico (RVA), permitiendo analizar los cambios que ocurren en el almidón principalmente en tres períodos: un primer período de calentamiento controlado (95°C), seguido de un periodo a temperatura constante y finalmente un enfriamiento hasta 50°C (Saunders *et al.*, 2011).

Se puede observar que la harina de trigo (F0) mostró una temperatura de pasta promedio de 73°C. A diferencia de este, la adición de harinas de kañiwa y tarwi en las formulaciones (F1-

F11) incrementaron el valor de temperatura de pasta, mostrándose el máximo incremento en F2, F5 y F6 las cuales son formulaciones que poseen harina de trigo (40 a 50%), harina de kañiwa (40%) y harina de tarwi (10 a 20%). Esta temperatura promedio fue de 91°C, lo cual indica que dicho incremento se debe a la interacción de las harinas sucedáneas y la menor disponibilidad de almidón en la dispersión. (ver Tabla 13).

**Tabla 13: Temperatura de pasta y tiempo de viscosidad en perfil viscoamilográfico de las formulaciones**

| Formulación                 | Temperatura de pasta<br>°C | Tiempo de viscosidad pico<br>min |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| F0 (100% T)                 | 72.8 ±3.70 <sup>a</sup>    | 5.97 ±0.14 <sup>e</sup>          |
| F1 (65% T+ 20% K +15% W)    | 89.5 ±0.41 <sup>bcd</sup>  | 5.14 ±0.01 <sup>ab</sup>         |
| F2 (40% T + 40% K +20% W)   | 91.3 ±0.06 <sup>d</sup>    | 5.13 ±0.00 <sup>ab</sup>         |
| F3 (60% T + 24% K + 16% W)  | 90.0 ±0.45 <sup>bcd</sup>  | 5.15 ±0.04 <sup>ab</sup>         |
| F4 (51% T + 29% K + 20% W)  | 90.5 ±0.03 <sup>bcd</sup>  | 5.16 ±0.04 <sup>ab</sup>         |
| F5 (50% T + 40% K + 10% W)  | 91.3 ±0.05 <sup>cd</sup>   | 5.20 ±0.01 <sup>abc</sup>        |
| F6 (45% T + 40% K + 15% W)  | 91.0 ±0.45 <sup>cd</sup>   | 5.16 ±0.08 <sup>ab</sup>         |
| F7 (50% T + 34% K + 16% W)  | 90.9 ±0.46 <sup>bcd</sup>  | 5.27 ±0.07 <sup>c</sup>          |
| F8 (60% T + 30% K + 10% W)  | 89.9 ±0.44 <sup>bcd</sup>  | 5.22 ±0.04 <sup>bc</sup>         |
| F9 (55% T + 29% K + 16% W)  | 89.4 ±0.48 <sup>bc</sup>   | 5.11 ±0.03 <sup>a</sup>          |
| F10 (70% T + 20% K + 10% W) | 89.9 ±0.48 <sup>bcd</sup>  | 5.38 ±0.04 <sup>d</sup>          |
| F11 (60% T + 20% K + 20% W) | 89.0 ±0.49 <sup>b</sup>    | 5.11 ±0.03 <sup>a</sup>          |
| <i>HK*</i>                  | 0.0 ±0.00                  | 0.0 ±0.00                        |

Letras diferentes en superíndice dentro de una misma columna muestran diferencias significativas entre valores ( $p < 0.05$ ). Los datos se indican como la media de tres repeticiones ( $n=3$ ) ± desviación estándar (DE). T: harina de trigo, K; harina de kañiwa, W: harina de tarwi. \*Parámetros de empaste de harina de kañiwa.

Lo antes mencionado en la sustitución de harina de trigo por harina de kañiwa, fue demostrado por Bustos et al. (2019), los cuales emplearon niveles de sustitución de 10 a 30%, que generaron el incremento de temperatura de pasta en comparación a la muestra de

harina de trigo; siendo dicho incremento menos perceptible en relación al presente estudio, dado que la sustitución fue menor y el único sucedáneo empleado fue la kañiwa.

La presencia de la harina de tarwi puede ser un factor que retarda el inicio de la gelatinización al haber menos almidón disponible, como lo indican Salazar et al. (2021) quienes reportan un contenido de almidón cercano al 6% (2% de amilosa y 4% de amilopectina) en comparación a harinas de otras especies como el camote, mashua, oca o arracacha. Esta temperatura de pasta se alcanza en un momento más avanzado en el análisis y requiere una mayor temperatura (ver Anexo 1).

Lo antes mencionado en la sustitución de harina de trigo por harina de kañiwa, fue demostrado por Bustos et al. (2019), los cuales emplearon niveles de sustitución de 10 a 30%, que generaron el incremento de temperatura de pasta en comparación a la muestra de harina de trigo; siendo dicho incremento menos perceptible en relación al presente estudio, dado que la sustitución fue menor y el único sucedáneo empleado fue la kañiwa. La presencia de la harina de tarwi puede ser un factor que retarda el inicio de la gelatinización al haber menos almidón disponible, como lo indican Salazar et al. (2021) quienes reportan un contenido de almidón cercano al 6% (2% de amilosa y 4% de amilopectina) en comparación a harinas de otras especies como el camote, mashua, oca o arracacha. Esta temperatura de pasta se alcanza en un momento más avanzado en el análisis y requiere una mayor temperatura.

Con respecto al tiempo de pico de viscosidad, se observó que la formulación control (F0) presentó el mayor valor de tiempo de pico (5.97 min) a la vez que el mayor valor de pico de viscosidad (2043.3 cP), seguido de la formulación F10 con 5.38 min y 1010 cP para valores de tiempo de pico y viscosidad máxima, respectivamente. A medida que el nivel de sustitución fue aumentando, tanto el tiempo de pico (5.11 a 5.27 min) como la viscosidad máxima (435.7 a 874.7 cP), disminuyeron significativamente ( $p < 0.05$ ) para el resto de las formulaciones (ver Tabla 12). Siendo F9 y F11, las formulaciones que manifestaron valores de viscosidad máxima en el menor tiempo (5.11 min). Los menores valores de pico viscosidad de las formulaciones (ver Tabla 13), se reportaron en aquellas donde la sustitución de harina de trigo fue máxima (435.7 y 513.7 cP para F2 y F6, respectivamente), donde un mayor aporte de harina de tarwi contribuyó en la disminución de la viscosidad máxima, donde se asume una menor disponibilidad de almidón en la dispersión (Salazar et al., 2021).

La formulación control (F0) mostró el mayor valor de breakdown (1061.3 cP), relacionado con una mayor fragilidad de los gránulos de almidón. En contraparte, las formulaciones F2, F4 y F6 manifestaron los menores valores de breakdown iguales a 179.7, 218 y 177 cP, respectivamente. Estas formulaciones se caracterizaron por presentar altos contenidos de harina de tarwi; sin embargo, la formulación F4 no superó el 30% de inclusión de harina de kañiwa, diferente a F2 y F6, donde el nivel de inclusión de harina de kañiwa fue del 40% (ver Tabla 14).

Entre los valores obtenidos durante el periodo de enfriamiento, las formulaciones con sustitución presentaron una disminución en los valores de viscosidad mínima y final con respecto a la formulación control (F0), consecuentemente, su diferencia (*setback* total) también se vio disminuida en todos los casos. El menor valor de viscosidad mínima y final se encontró en la formulación F2 (323 y 730 cP, respectivamente). De la misma manera para el *setback*, igual a 367.3 cP. Bustos et al. (2019) evidenciaron también la tendencia a la baja en los parámetros de viscosidad en función a la inclusión de las harinas sucedáneas, reportando valores bajos tanto de breakdown y *setback* con respecto a la harina de trigo; esta influencia se encontró en concordancia a lo reportado en la Tabla 13, en donde el comportamiento de la dispersión de harina de kañiwa presentó valores sumamente menores con respecto a las mezclas y control. Esta tendencia se puede explicar por el contenido de fibra dietética de las harinas de kañiwa y tarwi, de aproximadamente 16% (ver Tabla 10), ya que puede disminuir la viscosidad de la harina de trigo en la dispersión y su incorporación produce una reducción en los parámetros de viscosidad máxima y final, ya que existe una competencia entre la fibra y el almidón, por el contenido de agua disponible en el sistema almidón-agua formado.

En la Tabla 14 se reportan los valores promedio de las propiedades de pico de viscosidad o viscosidad máxima, viscosidad final, viscosidad mínima, breakdown y *setback* total, extraídos del perfil viscoamilográfico de las formulaciones del diseño de mezclas de la presente investigación:

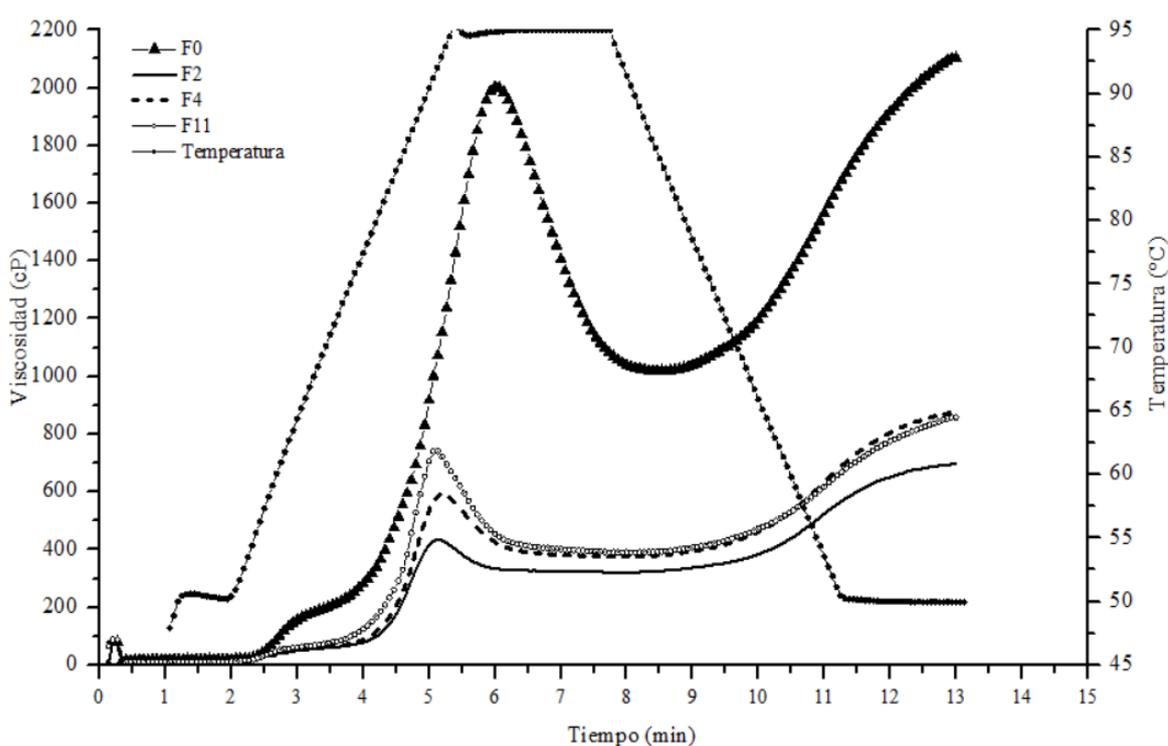
**Tabla 14: Valores medios de pico de viscosidad, viscosidad final, viscosidad mínima, breakdown y setback total en perfil viscoamilográfico de las formulaciones**

| Formulación                 | Pico de viscosidad         | Viscosidad final           | Viscosidad mínima          | Breakdown                 | Setback total             |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                             | cP                         |                            |                            |                           |                           |
| F0 (100% T)                 | 2043.3 ±144.0 <sup>h</sup> | 2119.0 ±169.6 <sup>f</sup> | 1059.3 ±148.4 <sup>g</sup> | 1061.3 ±61.1 <sup>h</sup> | 1093.7 ±40.1 <sup>d</sup> |
| F1 (65% T+ 20%K +15% W)     | 843.7 ±19.9 <sup>f</sup>   | 754.7 ±42.0 <sup>ab</sup>  | 379.3 ±18.6 <sup>bcd</sup> | 410.0 ±15.5 <sup>f</sup>  | 381.7 ±20.2 <sup>a</sup>  |
| F2 (40% T + 40% K +20% W)   | 435.7 ±3.5 <sup>a</sup>    | 730.3 ±51.7 <sup>a</sup>   | 322.7 ±9.5 <sup>a</sup>    | 179.7 ±57.9 <sup>a</sup>  | 367.3 ±15.6 <sup>a</sup>  |
| F3 (60% T + 24% K + 16% W)  | 702.0 ±43.3 <sup>de</sup>  | 731.0 ±24.3 <sup>a</sup>   | 364.7 ±13.3 <sup>bcd</sup> | 337.3 ±30.0 <sup>d</sup>  | 366.3 ±11.0 <sup>a</sup>  |
| F4 (51% T + 29% K + 20% W)  | 585.7 ±30.7 <sup>bc</sup>  | 886.7 ±33.7 <sup>c</sup>   | 377.3 ±25.7 <sup>bcd</sup> | 218.0 ±3.6 <sup>ab</sup>  | 501.0 ±2.0 <sup>b</sup>   |
| F5 (50% T + 40% K + 10% W)  | 643.3 ±9.6 <sup>cd</sup>   | 876.0 ±10.5 <sup>c</sup>   | 399.7 ±1.5 <sup>cd</sup>   | 239.0 ±4.6 <sup>b</sup>   | 482.0 ±3.6 <sup>b</sup>   |
| F6 (45% T + 40% K + 15% W)  | 513.7 ±21.5 <sup>b</sup>   | 840.7 ±26.1 <sup>bc</sup>  | 343.7 ±7.2 <sup>bc</sup>   | 177.0 ±5.3 <sup>a</sup>   | 511.0 ±3.6 <sup>b</sup>   |
| F7 (50% T + 34% K + 16% W)  | 693.7 ±8.5 <sup>de</sup>   | 1185.3 ±9.9 <sup>de</sup>  | 430.7 ±1.5 <sup>de</sup>   | 263.0 ±7.6 <sup>bc</sup>  | 755.3 ±8.9 <sup>c</sup>   |
| F8 (60% T + 30% K + 10% W)  | 874.7 ±11.5 <sup>f</sup>   | 1126.0 ±11.4 <sup>d</sup>  | 478.3 ±14.2 <sup>ef</sup>  | 396.3 ±3.2 <sup>ef</sup>  | 647.7 ±4.0 <sup>c</sup>   |
| F9 (55% T + 29% K + 16% W)  | 687.7 ±7.1 <sup>de</sup>   | 883.7 ±9.1 <sup>c</sup>    | 398.3 ±6.0 <sup>cd</sup>   | 289.3 ±1.2 <sup>c</sup>   | 485.3 ±3.1 <sup>b</sup>   |
| F10 (70% T + 20% K + 10% W) | 1010.0 ±24.6 <sup>g</sup>  | 1243.0 ±32.1 <sup>e</sup>  | 524.0 ±9.5 <sup>f</sup>    | 486.0 ±16.1 <sup>g</sup>  | 719.0 ±22.5 <sup>c</sup>  |
| F11 (60% T + 20% K + 20% W) | 741.0 ±10.6 <sup>e</sup>   | 858.0 ±10.8 <sup>c</sup>   | 389.0 ± 3.5 <sup>bcd</sup> | 352.0 ±7.2 <sup>de</sup>  | 469.0 ± 7.6 <sup>b</sup>  |
| <i>HK*</i>                  | 129.5 ±13.4                | 150.0 ±14.1                | 126.5 ±13.4                | 3.0 ±0.0                  | 23.5 ±0.7                 |

Letras diferentes en superíndice dentro de una misma columna muestran diferencias significativas entre valores ( $p < 0.05$ ). Los datos se indican como la media de tres repeticiones ( $n=3$ ) ± desviación estándar (DE). T: harina de trigo, K; harina de kañiwa, W: harina de tarwi. \*Parámetros de empaste de harina de kañiwa.

Una menor disponibilidad de agua en la dispersión, podría disminuir el hinchamiento inicial de los gránulos de almidón, contribuyendo a mantener su integridad, lo cual deviene en una menor viscosidad y también en una menor destrucción de los gránulos (Bustos *et al.*, 2019; Collar *et al.*, 2006); existen también interferencias debido a las asociaciones intermoleculares entre la amilopectina y fibras agregadas, las cuales suponen un factor influyente en el comportamiento de empaste del sistema almidón-glucano (Symons y Brennan, 2004).

En la Figura 5 se evidencia el desarrollo de las temperaturas de empaste de los tratamientos control y aquellas formulaciones con un mayor nivel de inclusión de harina de tarwi, lo cual produjo disminuciones en los valores de setback, tal fue el caso de las formulaciones F2, F4 y F11 para un 20% de inclusión de harina de tarwi (ver también Anexo 1).



**Figura 5: Representación gráfica del análisis RVA para las formulaciones F0 (control), F2, F4 y F11.**

Se observa que, a una mayor inclusión, existe una influencia del incremento de contenido de lípidos de parte de las harinas sucedáneas, manifestándose una clara disminución de los parámetros de empaste antes reportados. Dicha influencia se apoya en la formación del

complejo de almidón con lípidos de naturaleza endógena o agregados (Tufvesson *et al.*, 2003). La influencia de la harina de tarwi en la disminución de la viscosidad de retrogradación se verificó en las dispersiones, en concordancia a lo analizado por (Vidaurre-Ruiz *et al.*, 2019) quienes reportaron valores bajos de este parámetro y lo relacionaron a la estabilidad durante el proceso de almacenamiento y vida útil de los productos finales.

## 4.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS

Se realizaron mediciones de actividad de agua y análisis de perfil de textura de las masas de las once formulaciones del diseño de mezclas y la formulación control, con el objetivo de caracterizarlas desde un punto de vista de calidad y tecnológico.

### 4.2.1. ACTIVIDAD DE AGUA (AW)

Con relación a la  $A_w$  medida en las masas de las formulaciones F1 a F11, comparadas con F0, fue posible apreciar la disminución de este valor en aquellos tratamientos que presentaron sustitución de harina de trigo por harinas sucedáneas; excepcionalmente, la formulación F5 con un 50% de sustitución (40% de harina de kañiwa y 10% de harina de tarwi), mostró un valor semejante ( $p < 0.05$ ) a F0 (100% de harina de trigo). Lo menores valores de  $A_w$  entre las formulaciones estudiadas se presentaron en F1, F9 y F6, con sustituciones del 35, 45 y 55%, respectivamente (ver Tabla 15).

**Tabla 15: Valores promedio de actividad de agua ( $A_w$ )**

| Formulación                | Actividad de Agua         |
|----------------------------|---------------------------|
| F0 (100% T)                | $0.8140 \pm 0.006^{def}$  |
| F1 (65% T+ 20% K +15% W)   | $0.7946 \pm 0.010^{ab}$   |
| F2 (40% T + 40% K +20% W)  | $0.7994 \pm 0.004^{bc}$   |
| F3 (60% T + 24% K + 16% W) | $0.8112 \pm 0.002^{cdef}$ |
| F4 (51% T + 29% K + 20% W) | $0.8166 \pm 0.001^{ef}$   |
| F5 (50% T + 40% K + 10% W) | $0.8236 \pm 0.002^f$      |
| F6 (45% T + 40% K + 15% W) | $0.7856 \pm 0.005^a$      |

<<continuación>>

|                             |                                |
|-----------------------------|--------------------------------|
| F7 (50% T + 34% K + 16% W)  | 0.8071 ± 0.006 <sup>bcde</sup> |
| F8 (60% T + 30% K + 10% W)  | 0.8027 ± 0.002 <sup>bcd</sup>  |
| F9 (55% T + 29% K + 16% W)  | 0.7961 ± 0.006 <sup>ab</sup>   |
| F10 (70% T + 20% K + 10% W) | 0.8118 ± 0.001 <sup>cdef</sup> |
| F11 (60% T + 20% K + 20% W) | 0.8079 ± 0.002 <sup>bcde</sup> |

Letras diferentes en superíndice dentro de una misma columna muestran diferencias significativas entre valores ( $p < 0.05$ ). Los datos se indican como la media de tres repeticiones ( $n=3$ ) ± desviación estándar (DE). T: harina de trigo, K; harina de kañiwa, W: harina de tarwi.

La Aw determinada en las diferentes formulaciones, no reflejó una incidencia directa por un mayor o menor porcentaje de alguna de las harinas sucedáneas en forma individual, en tanto que, la sinergia del total de harinas en los diferentes niveles de sustitución sería motivo de la disminución de Aw reportada en la Tabla 15.

Los valores promedio de Aw de las masas de galletas evaluadas, varió de 0.7946 a 0.8236 evidenciándose diferencias a nivel estadístico; sin embargo, dichos valores fueron cercanos a lo reportado por Sabillón *et al.*, (2021) quienes estudiaron el efecto de la presión hidrostática y su relación con la actividad de agua y funcionalidad de masas de galletas “listas para hornear”, reportando un rango de Aw de 0.8 a 0.87. Se sostuvo que dicha variación no tuvo un efecto significativo en la reducción de microorganismos en las masas, diferente al efecto que esta variación tuvo sobre la textura de las galletas horneadas, donde se verificó que el aumento de la actividad de agua en la masa produjo una disminución de la dureza medida en las galletas.

#### 4.2.2. ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA EN LAS MASAS

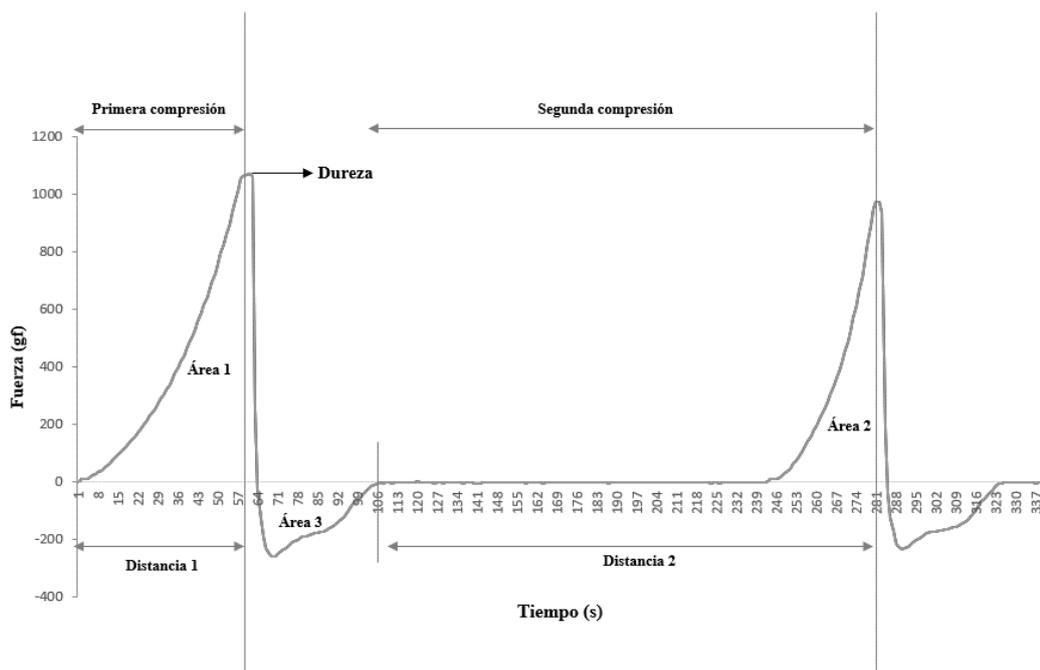
En la Tabla 16, se presentan los valores promedio de las propiedades texturales (dureza y gomosidad, en N; adhesividad, en mJ; cohesividad y elasticidad como mediciones adimensionales) medidas en las masas del diseño de mezclas (incluyendo en esta medición a la formulación control 100% harina de trigo).

**Tabla 16: Propiedades texturales de las masas del diseño de mezclas y formulación control**

| F <sub>N</sub> | Nivel de Sustitución (%) |    |    | Dureza                    | Adhesividad                 | Cohesividad              | Elasticidad              | Gomosidad                |
|----------------|--------------------------|----|----|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                | HT                       | HK | HW | (N)                       | mJ                          | -                        | -                        | (N)                      |
| <b>F0</b>      | 100                      | 0  | 0  | 10.56 ±0.2 <sup>a</sup>   | -9.48 ±0.29 <sup>a</sup>    | 0.82 ±0.04 <sup>g</sup>  | 0.87 ±0.04 <sup>g</sup>  | 8.59 ±0.4 <sup>a</sup>   |
| <b>F1</b>      | 65                       | 20 | 15 | 12.09 ±0.6 <sup>bc</sup>  | -10.37 ±0.80 <sup>abc</sup> | 0.76 ±0.03 <sup>e</sup>  | 0.74 ±0.02 <sup>de</sup> | 9.19 ±0.7 <sup>b</sup>   |
| <b>F2</b>      | 40                       | 40 | 20 | 16.45 ±0.4 <sup>h</sup>   | -11.76 ±0.71 <sup>e</sup>   | 0.65 ±0.06 <sup>a</sup>  | 0.62 ±0.04 <sup>a</sup>  | 11.59 ±0.4 <sup>fg</sup> |
| <b>F3</b>      | 60                       | 24 | 16 | 13.10 ±0.4 <sup>cd</sup>  | -10.19 ±0.73 <sup>abc</sup> | 0.75 ±0.03 <sup>ab</sup> | 0.74 ±0.03 <sup>de</sup> | 9.83 ±0.3 <sup>d</sup>   |
| <b>F4</b>      | 51                       | 29 | 20 | 16.10 ±0.4 <sup>gh</sup>  | -11.05 ±0.90 <sup>de</sup>  | 0.72 ±0.02 <sup>d</sup>  | 0.64 ±0.04 <sup>ab</sup> | 11.19 ±0.3 <sup>f</sup>  |
| <b>F5</b>      | 50                       | 40 | 10 | 13.74 ±0.5 <sup>de</sup>  | -10.95 ±0.74 <sup>de</sup>  | 0.70 ±0.03 <sup>c</sup>  | 0.72 ±0.03 <sup>d</sup>  | 9.62 ±0.3 <sup>cd</sup>  |
| <b>F6</b>      | 45                       | 40 | 15 | 14.17 ±1.3 <sup>de</sup>  | -11.06 ±0.80 <sup>bcd</sup> | 0.70 ±0.05 <sup>c</sup>  | 0.66 ±0.04 <sup>bc</sup> | 9.92 ±0.6 <sup>e</sup>   |
| <b>F7</b>      | 50                       | 34 | 16 | 15.16 ±0.3 <sup>fg</sup>  | -11.24 ±0.56 <sup>e</sup>   | 0.71 ±0.03 <sup>cd</sup> | 0.64 ±0.05 <sup>ab</sup> | 10.76 ±0.6 <sup>f</sup>  |
| <b>F8</b>      | 60                       | 30 | 10 | 14.50 ± 0.2 <sup>ef</sup> | -10.20 ±0.49 <sup>abc</sup> | 0.68 ±0.03 <sup>b</sup>  | 0.77 ±0.02 <sup>ef</sup> | 9.43 ±0.3 <sup>c</sup>   |
| <b>F9</b>      | 55                       | 29 | 16 | 13.51 ±0.8 <sup>de</sup>  | -10.86 ±0.87 <sup>bcd</sup> | 0.68 ±0.02 <sup>b</sup>  | 0.67 ±0.03 <sup>c</sup>  | 9.19 ±0.2 <sup>b</sup>   |
| <b>F10</b>     | 70                       | 20 | 10 | 11.05 ±0.7 <sup>ab</sup>  | -9.68 ±0.27 <sup>a</sup>    | 0.78 ±0.06 <sup>ef</sup> | 0.79 ±0.03 <sup>f</sup>  | 8.66 ±0.3 <sup>ab</sup>  |
| <b>F11</b>     | 60                       | 20 | 20 | 14.15 ±0.2 <sup>ef</sup>  | -9.74 ±0.26 <sup>ab</sup>   | 0.69 ±0.07 <sup>bc</sup> | 0.66 ±0.02 <sup>bc</sup> | 9.76 ±0.3 <sup>d</sup>   |

Letras diferentes en superíndice dentro de una misma columna muestran diferencias significativas entre valores ( $p < 0.05$ ). Los datos se indican como la media de tres repeticiones ( $n=6$ ) ± desviación estándar (DE). HT: harina de trigo; HK: harina de kañiwa; HW: harina de tarwi.

Las propiedades texturales de las masas de galletas variaron en función al nivel de sustitución de cada formulación del diseño, simulando una doble compresión, seguida de una doble compresión. Los resultados obtenidos relacionan la fuerza (dureza en gramos fuerza) en función al tiempo, mediante una curva que permite definir los parámetros de textura antes expuestos (ver Tabla 16). Los parámetros de dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad y gomosidad se exponen en la Figura 6 según lo descrito por Hleap & Velasco (2010).



**Figura 6: Determinación de los parámetros texturales en la curva de perfil de textura (TPA)**

FUENTE: Hleap & Velasco (2010).

Con respecto a lo reportado en la Tabla 16, se pudo observar que existieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para todas las propiedades texturales, entre las formulaciones del diseño de mezclas y el control. Con relación a la dureza (expresada en Newton), los tratamientos que expresaron menor valor fueron F0 (control), F3 y F10 con 10.6, 11.1 y 12.1 N, respectivamente. Estas formulaciones no superaron el 40% de inclusión de harinas sucedáneas. De modo contrario, los tratamientos F2 y F4 manifestaron la mayor dureza entre las masas evaluadas, con valores de 16.5 y 16.1 N, respectivamente, lo que corresponde a un incremento de 36% de la dureza comparada con la masa control. Dichas masas presentaron altos niveles de inclusión de harinas sucedáneas, superando el 29% de harina de kañiwa y

llegando a la mayor inclusión de harina de tarwi del diseño de mezclas (20%), lo cual corresponde a un mayor contenido de grasa en la composición de las masas de estas formulaciones. Este comportamiento también fue evidenciado por Sudha et al. (2013), quienes desarrollaron el análisis de perfil de textura en masas de galletas con sustitución de harina de trigo por grasa de leche en polvo, donde obtuvieron mayores valores de dureza de la masa, superando hasta en 45% a la masa control en aquellas formulaciones con un gran contenido de grasa en la producción de galletas.

Se evidenció que el valor de cohesividad de las masas en todos los tratamientos, tuvieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) comparados con la formulación control (F0), manifestándose una tendencia a disminuir dicho valor con el aumento de inclusión de harinas sucedáneas. Se observó que la formulación control (F0) presentó el mayor índice de cohesividad (0.82), mostrando, como era de esperar, que presenta una mejor integración de sus componentes. Siendo, la formulación F2, de mayor porcentaje de sustitución, la que mostró el menor valor de cohesividad (0.65) y un gran contenido de proteínas y grasa conferida por las harinas sucedáneas. Sudha *et al.* (2013), al evaluar este parámetro en masas de galletas con alto contenido graso, estableció una relación inversa entre la dureza de la masa y la cohesividad. Finalmente, el producto de los valores de cohesividad y dureza resultan en el parámetro de gomosidad (N), el cual manifestó un incremento con la incorporación de las harinas sucedáneas en las formulaciones, por lo que es posible señalar que el parámetro de dureza sería determinante para el cálculo de la gomosidad de las masas de las galletas estudiadas.

En lo que respecta a la adhesividad (la cual describe un valor de área negativo en la Figura 6, esta fue comparativamente diferente en un rango de valores negativos. La formulación control (F0) presentó el menor valor (-9.5 mJ) en comparación a las formulaciones restantes del diseño de mezclas ( $p < 0.05$ ). Se evidenció una mayor adhesividad en masas de los tratamientos F2, F4 y F7, las cuales manifestaron valores promedio de adhesividad de -11.8, -11.1 y -11.2 mJ. Estos valores corresponden a tratamientos con el mayor aporte de grasas procedente de las harinas sucedáneas, con mayor incidencia de parte de la harina de tarwi en su composición. Lo antes reportado, explicó el comportamiento de las masas de las formulaciones correspondientes a los mayores niveles de inclusión, las que presentaron una mayor dificultad de manipulación tanto en la conformación de la masa como en el proceso

de laminado y corte de discos de masas, los cuales fueron sometidos posteriormente a una doble compresión durante el análisis de perfil de textura.

La formulación F0 presentó el mayor valor de elasticidad igual a 0.87 y a su vez, fue significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) a las formulaciones sustituidas, evidenciándose una disminución (hasta un valor de 0.62) de este parámetro en masas con sustitución de harina de trigo mayor al 50%. Los valores de elasticidad describen la recuperación de la masa entre los dos bocados (Sudha *et al.*, 2013) como se muestra en la Figura 6 bajo la representación de dos picos, donde se observó que dicha propiedad se expresa como el cociente de las medidas de tiempo (en s) necesario para alcanzar cada pico de dureza de la masa estudiada. El coeficiente de elasticidad guarda relación con el contenido y cantidad de gluten de las masas, de tal modo que, las masas formuladas con mayor nivel de harina de trigo frecuentemente muestran valores de 0.7 a 0.9, y al presentarse la sustitución de harina de trigo, la capacidad de conformación de la red de gluten en la masa se ve alterada negativamente, por lo que se explica que, ante una mayor inclusión de harinas sucedáneas, se presenten valores como los antes expuestos.

#### **4.3. ANÁLISIS EN GALLETAS SUSTITUIDAS**

En las once formulaciones con niveles de sustitución de harina de trigo y la formulación control (F0) fueron realizados los ensayos de determinación de humedad, actividad de agua, análisis de color (coordenadas cromáticas), textura (en términos de firmeza), factor de expansión o galletita y el contenido de proteínas; siendo estas tres últimas variables en mención, las que fueron maximizadas en el proceso de optimización del diseño de mezclas.

##### **4.3.1. HUMEDAD (%) Y ACTIVIDAD DE AGUA (AW)**

El contenido de humedad y actividad de agua, son propiedades fisicoquímicas que cumplen roles vitales en los productos de galletería y tienen efecto sobre la actividad microbiológica, textura, características sensoriales y vida útil (Carter *et al.*, 2015). Estas propiedades, entonces, permitirán establecer correlaciones positivas o negativas con otro tipo de propiedades de carácter físico o reológico medidas en las galletas (ver Tabla 17).

**Tabla 17: Valores promedio de humedad (%) y actividad de agua (Aw)**

| <b>Formulación</b>          | <b>Humedad (%)</b>      | <b>Aw</b>                    |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------------|
| F0 (100% T)                 | 3.90 ±0.03 <sup>c</sup> | 0.4455 ±0.011 <sup>g</sup>   |
| F1 (65% T+ 20% K +15% W)    | 3.73 ±0.02 <sup>b</sup> | 0.3903 ±0.001 <sup>de</sup>  |
| F2 (40% T + 40% K +20% W)   | 3.36 ±0.03 <sup>a</sup> | 0.3308 ±0.009 <sup>ab</sup>  |
| F3 (60% T + 24% K + 16% W)  | 3.68 ±0.03 <sup>b</sup> | 0.3913 ±0.003 <sup>def</sup> |
| F4 (51% T + 29% K + 20% W)  | 3.70 ±0.02 <sup>b</sup> | 0.3464 ±0.006 <sup>a</sup>   |
| F5 (50% T + 40% K + 10% W)  | 3.41 ±0.02 <sup>a</sup> | 0.3824 ±0.000 <sup>cd</sup>  |
| F6 (45% T + 40% K + 15% W)  | 3.31 ±0.04 <sup>a</sup> | 0.3664 ±0.003 <sup>bc</sup>  |
| F7 (50% T + 34% K + 16% W)  | 3.40 ±0.03 <sup>a</sup> | 0.3738 ±0.004 <sup>cd</sup>  |
| F8 (60% T + 30% K + 10% W)  | 3.63 ±0.03 <sup>b</sup> | 0.4083 ±0.004 <sup>f</sup>   |
| F9 (55% T + 29% K + 16% W)  | 3.32 ±0.04 <sup>a</sup> | 0.3815 ±0.001 <sup>cd</sup>  |
| F10 (70% T + 20% K + 10% W) | 3.77 ±0.09 <sup>b</sup> | 0.4107 ±0.000 <sup>f</sup>   |
| F11 (60% T + 20% K + 20% W) | 3.59 ±0.02 <sup>a</sup> | 0.4023 ±0.002 <sup>ef</sup>  |

Letras diferentes en superíndice dentro de una misma columna muestran diferencias significativas entre valores ( $p < 0.05$ ). Los datos se indican como la media de tres repeticiones ( $n=3$ ) ± desviación estándar (DE).

Como se evidenció en la tabla anterior, la formulación control (F0) presentó un mayor contenido de humedad y actividad de agua con respecto a las formulaciones con inclusión de harinas sucedáneas, mostrando diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ). La reducción del contenido de humedad en las galletas se relacionó proporcionalmente con el nivel de sustitución de harina de trigo, encontrando los niveles de humedad más bajos para un rango de sustitución de 45 a 60%. Por otro lado, los valores de Aw disminuyeron (entre un 11 a 29% en comparación a la formulación control) a medida que incrementó el nivel de sustitución de harina de trigo.

Las formulaciones F2 y F4 presentaron los menores valores de Aw, las mismas que están referidas a niveles de sustitución de harina de trigo de 60 y 49%, respectivamente. Sin embargo, coinciden con el valor máximo de harina de tarwi en su composición (20%). Estudios realizados por Ranok *et al.* (2021) al desarrollar una galleta salada sin gluten mediante la sustitución de la harina de trigo por harina de arroz (*Oryza sativa* L.) var. Riceberry combinado con proteínas de la leche (caseína) para reemplazar el gluten,

evaluaron los efectos de dicha sustitución al 50 y 100% (RB50 y RB100, respectivamente) sobre las propiedades de las galletas producidas. Al igual que los resultados mostrados en la Tabla 16, estos autores al determinar los valores de  $A_w$  en la galleta resultante, evidenciaron una disminución de aproximadamente el 30% con respecto al control.

Según lo antes reportado, tanto la formulación control como las formulaciones del diseño de mezclas, manifestaron valores de  $A_w$  en un rango de 0.3 a 0.45. Este conjunto de valores se puede considerar estables desde un punto de vista de calidad, ya que reflejarían una baja tendencia a la producción de reacciones oxidativas o riesgo de crecimiento de mohos y levaduras (Belitz *et al.*, 2009; Detchewa *et al.*, 2021); además de encontrarse en valores sugeridos para galletas, cereales y productos deshidratados (Badui, 2013).

#### 4.3.2. ANÁLISIS DE COLOR DE GALLETAS SUSTITUIDAS

La medición de color fue llevada a cabo con el fin de evaluar los cambios de color en la superficie de las galletas. Dichos cambios fueron evaluados a través de las coordenadas cromáticas o espectros de color del sistema  $L^*a^*b^*$ , para todas las formulaciones del diseño de mezclas y el control (ver Anexo 2). A continuación, se reportan los valores medios, diferencias significativas y desviación estándar de estos parámetros

**Tabla 18: Valores promedio de coordenadas de color ( $L^*$ ),  $a^*$  y  $b^*$**

| Formulación              | $L^*$                    | $a^*$                    | $b^*$                   |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| F0 (100% T)              | 54.19 ±0.40 <sup>h</sup> | 10.17 ±0.13 <sup>h</sup> | .93 ±0.41 <sup>f</sup>  |
| F1 (65% T +20% K +15% W) | 48.08 ±0.43 <sup>f</sup> | 7.84 ±0.30 <sup>cd</sup> | .79 ±0.28 <sup>ab</sup> |
| F2 (40% T +40% K +20% W) | 43.99 ±0.26 <sup>c</sup> | 8.42 ±0.28 <sup>ef</sup> | .91 ±0.42 <sup>c</sup>  |
| F3 (60% T +24% K +16% W) | 48.12 ±0.34 <sup>f</sup> | 7.60 ±0.31 <sup>bc</sup> | .29 ±0.45 <sup>e</sup>  |
| F4 (51% T +29% K +20% W) | 49.05 ±0.30 <sup>g</sup> | 6.88 ±0.19 <sup>a</sup>  | .92 ±0.28 <sup>b</sup>  |
| F5 (50% T +40% K +10% W) | 41.13 ±0.28 <sup>a</sup> | 9.15 ±0.27 <sup>g</sup>  | .30 ±0.43 <sup>a</sup>  |
| F6 (45% T +40% K +15% W) | 43.35 ±0.26 <sup>b</sup> | 8.05 ±0.19 <sup>de</sup> | .48 ±0.33 <sup>c</sup>  |
| F7 (50% T +34% K +16% W) | 45.68 ±0.31 <sup>d</sup> | 8.56 ±0.26 <sup>f</sup>  | .35 ±0.33 <sup>e</sup>  |
| F8 (60% T +30% K +10% W) | 47.33 ±0.25 <sup>e</sup> | 7.19 ±0.19 <sup>ab</sup> | .38 ±0.44 <sup>e</sup>  |
| F9 (55% T +29% K +16% W) | 47.83 ±0.11 <sup>f</sup> | 7.64 ±0.15 <sup>bc</sup> | .64 ±0.17 <sup>ab</sup> |

<<continuación>>

|                           |                          |                          |                        |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| F10 (70% T +20% K +10% W) | 49.31 ±0.38 <sup>g</sup> | 8.32 ±0.38 <sup>ef</sup> | .60 ±0.44 <sup>d</sup> |
| F11 (60% T +20% K +20% W) | 48.97 ±0.27 <sup>g</sup> | 7.41 ±0.41 <sup>b</sup>  | .89 ±0.27 <sup>e</sup> |

Letras diferentes en superíndice dentro de una misma columna muestran diferencias significativas entre valores ( $p < 0.05$ ). Los datos se indican como la media de tres repeticiones ( $n=10$ ) ± desviación estándar (DE). T: harina de trigo, K; harina de kañiwa, W: harina de tarwi.

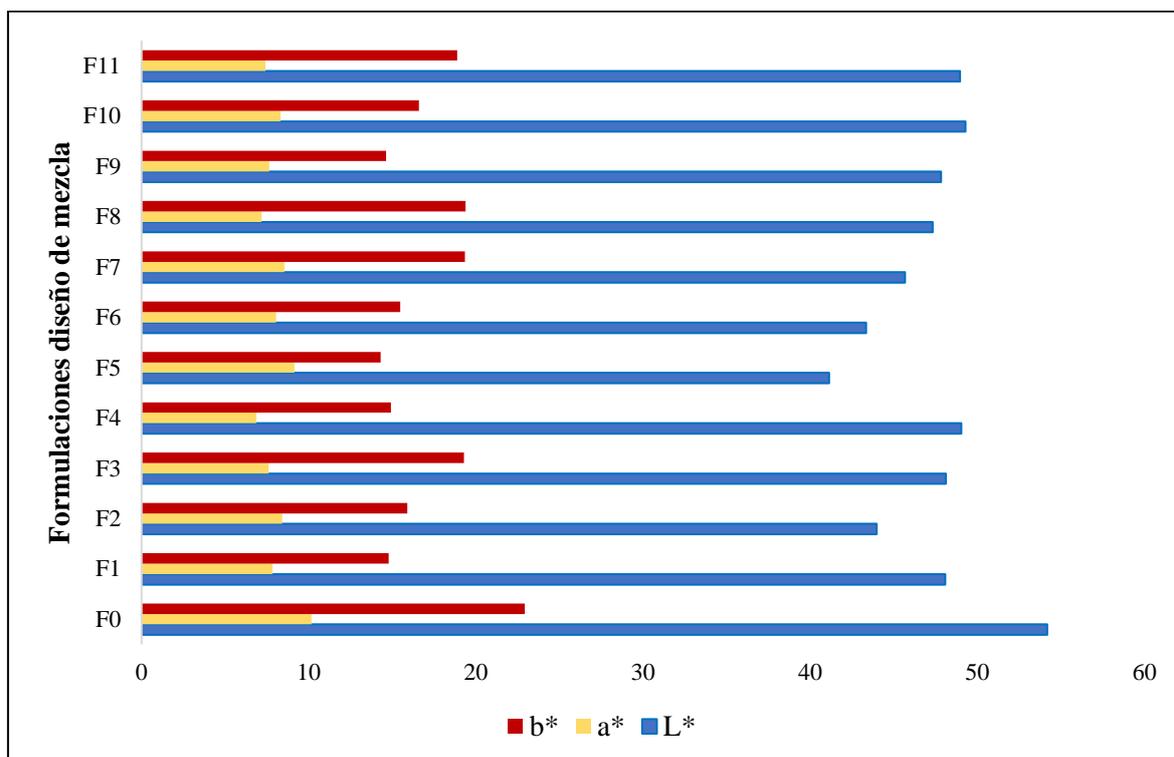
En la Tabla 18 se reportó los valores promedio de luminosidad ( $L^*$ ) de las formulaciones estudiadas, donde los resultados evidenciaron que, la formulación control (100% harina de trigo) fue significativamente más clara que las formulaciones con diferentes niveles de sustitución ( $p < 0.05$ ). Con respecto a ello, se obtuvieron valores bajos de  $L^*$  en formulaciones con el mayor contenido de harina de kañiwa (40%) en su composición (F2, F5 y F6), esto se puede explicar según Capurro & Huerta (2016) quienes señalan que la cantidad de cenizas es una medida importante para la calidad de las harinas, ya que a contenidos altos de cenizas se presentarán productos más oscuros.

En la presente investigación, se evidenció que la harina de kañiwa presentó el mayor porcentaje de cenizas (3.41%) mientras que, la harina de trigo y tarwi presentaron tan solo 0.8 y 1.6%, respectivamente (ver Tabla 11). A su vez, Purlis (2010) definió los valores de luminosidad de la superficie del producto como un índice de pardeamiento, ya que la tendencia del valor  $L^*$  en productos horneados, es decreciente en función a dicho proceso (Lewis & Heppell, 2000; Romani et al., 2009).

Si bien los resultados de menor luminosidad obtenidos de las formulaciones F2, F5 y F6 pueden relacionarse a la coloración original de la harina de kañiwa, es posible llegar a una tendencia similar en galletas con inclusión de harinas de coloración “pálida” como la harina de plátano (Detchewa *et al.*, 2021), ambos productos comparados con formulaciones control (elaboradas con harina de trigo); donde los autores determinaron una reducción tanto para el valor  $L^*$  como para los valores relacionados a las coordenadas cromáticas  $a^*$  y  $b^*$  de 27, 28.7 y 47%, respectivamente. Dicho comportamiento, se manifestó también en la presente investigación, con porcentajes de reducción de 18.8, 32.4 y 37.6%, para los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Si bien se espera que la coloración inicial de las harinas repercuta en la luminosidad de los productos horneados, esto también se encuentra relacionado a la variación de las

coordenadas cromáticas  $a^*$  y  $b^*$ , dado que las harinas sucedáneas, principalmente la kañiwa, resultó en una variación de rojo y amarillo similar.

En la Figura 7, se muestran los valores promedio de las coordenadas cromáticas de color de la formulación control y las formulaciones del diseño de mezclas:



**Figura 7: Valores promedio de las coordenadas cromáticas  $L^*a^*b^*$  de las formulaciones del diseño de mezclas y control (100%HT).**

Si bien los resultados de menor luminosidad obtenidos de las formulaciones F2, F5 y F6 pueden relacionarse a la coloración original de la harina de kañiwa, es posible llegar a una tendencia similar en galletas con inclusión de harinas de coloración “pálida” como la harina de plátano (Detchewa *et al.*, 2021), ambos productos comparados con formulaciones control (elaboradas con harina de trigo); donde los autores determinaron una reducción tanto para el valor  $L^*$  como para los valores relacionados a las coordenadas cromáticas  $a^*$  y  $b^*$  de 27, 28.7 y 47%, respectivamente. Dicho comportamiento, se manifestó también en la presente investigación, con porcentajes de reducción de 18.8, 32.4 y 37.6%, para los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Si bien se espera que la coloración inicial de las harinas repercuta en la luminosidad de los productos horneados, esto también se encuentra relacionado a la variación de las

coordenadas cromáticas a\* y b\*, dado que las harinas sucedáneas, principalmente la kañiwa, resultó en una variación de rojo y amarillo similar.

### 4.3.3. ANÁLISIS DE FIRMEZA

La variable de firmeza (expresada en gramos-fuerza) fue evaluada en las 11 formulaciones del diseño de mezclas y la formulación control. Tal y como se observa en la Tabla 18, se presentaron valores con diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la firmeza de las galletas, donde se observó que las formulaciones F6, F2 y F9 mostraron un incremento de esta propiedad hasta un 30% con respecto a la formulación control (F0).

Las formulaciones antes mencionadas, coincidieron con los menores valores promedio de humedad (ver Tabla 17) medidos en las galletas, que evidenció una relación inversa entre el contenido de humedad y los valores de firmeza en función de la adición de harinas sucedáneas. Carter *et al.* (2015) encontraron que la firmeza de las galletas se relaciona de manera inversa al contenido de humedad y Aw, interpretando que, galletas menos firmes se presentan a mayores contenidos de dichas propiedades. Contrario a ello, Detchewa *et al.* (2021), los cuales estudiaron el comportamiento de la inclusión de harina de banana (47% de almidón) en la formulación de galletas de arroz (16% de almidón), empleando como control, las galletas elaboradas con harina de trigo (27% de almidón). Todas las formulaciones estudiadas, resultaron en galletas más firmes o crocantes, siendo la formulación control (harina de trigo) la que mostró resultados intermedios para humedad y actividad de agua (ver Tabla 19).

**Tabla 19: Valores promedio de firmeza (en gf) de las formulaciones**

| Formulación diseño mezclas | Firmeza (gf)                 |
|----------------------------|------------------------------|
| F0 (100%T)                 | 869.45 ± 22.96 <sup>c</sup>  |
| F1 (65% T + 20% K + 15% W) | 722.96 ± 11.15 <sup>d</sup>  |
| F2 (40% T + 40% K + 20% W) | 1048.94 ± 38.63 <sup>b</sup> |
| F3 (60% T + 24% K + 16% W) | 829.11 ± 11.23 <sup>cd</sup> |
| F4 (51% T + 29% K + 20% W) | 869.02 ± 30.44 <sup>c</sup>  |

<<continuación>>

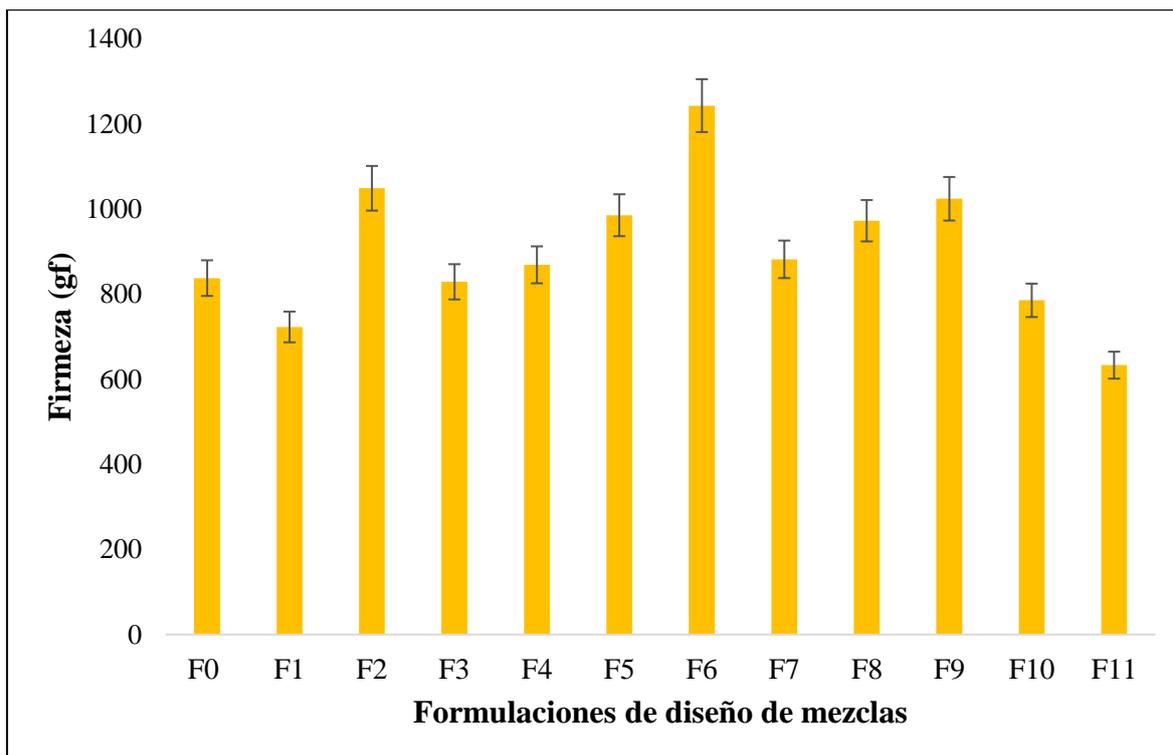
|                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| F5 (50% T + 40% K + 10% W)  | 985.59 ± 22.98 <sup>b</sup>  |
| F6 (45% T + 40% K + 15% W)  | 1243.16 ± 92.06 <sup>a</sup> |
| F7 (50% T + 34% K + 16% W)  | 881.95 ± 11.79 <sup>c</sup>  |
| F8 (60% T + 30% K + 10% W)  | 972.64 ± 64.66 <sup>b</sup>  |
| F9 (55% T + 29% K + 16% W)  | 1024.27 ± 90.44 <sup>b</sup> |
| F10 (70% T + 20% K + 10% W) | 786.57 ± 8.22 <sup>d</sup>   |
| F11 (60% T + 20% K + 20% W) | 633.19 ± 15.23 <sup>c</sup>  |

Letras diferentes en superíndice dentro de una misma columna muestran diferencias significativas entre valores ( $p < 0.05$ ). Los datos se indican como la media de tres repeticiones ( $n=6$ ) ± desviación estándar (DE). T: harina de trigo, K; harina de kañiwa, W: harina de tarwi.

Contrario a la mayoría de los resultados de firmeza obtenidos, que tendieron a incrementarse ante la inclusión de harina sucedáneas, se identificó que las formulaciones F1, F10 y F11 manifestaron valores menores de firmeza hasta en un 27% con respecto a F0. Baltacıoğlu et al. (2021), evaluaron la sustitución de harina de trigo por polvo de hongo (*Pleurotus ostreatus*) sobre las características químicas y físicas de las galletas, a niveles de 10, 20 y 30% de inclusión, donde se observó que los valores de fuerza de cizallamiento se redujeron a medida que se incrementó la presencia del polvo de hongo, llegando hasta una disminución de 26.97% con respecto a la formulación control evaluada.

Raymundo et al. (2014) evaluaron la sustitución de harina de trigo por harina de hongo del género *Psyllium*, donde dicho efecto conllevó a una reducción de la capacidad de desarrollo del gluten, relacionado a una disminución de la firmeza de las galletas con contenidos mayores de fibra y menor contenido de proteínas.

A continuación, la Figura 8 establece una comparación entre los valores promedio de firmeza y los niveles de incorporación de harinas sucedáneas, además de mostrar dichos valores para la formulación control:



**Figura 8: Firmeza promedio (en gf) en las formulaciones control y del diseño de mezclas evaluado.**

En el presente estudio, se evidenció que, una mayor inclusión de harina de kañiwa en las formulaciones, permitió llegar a valores de mayor firmeza, a su vez que dicha tendencia disminuyó a niveles mayores de inclusión de harina de tarwi. Raymundo *et al.* (2014) sostuvieron que, un aumento en el contenido de proteínas en la formulación se relaciona proporcionalmente con el aumento de firmeza en las galletas.

#### **4.3.4. DETERMINACIÓN DEL FACTOR GALLETITA (SPREAD FACTOR)**

Las dimensiones como el diámetro, espesor y factor galletita son parámetros de calidad de la galleta de gran importancia, debido a su relación con la capacidad de crecimiento o aumento de volumen de estos productos. El incremento en el diámetro y espesor de las galletas, afecta al factor galletita, lo cual se relaciona con una mejora en la capacidad de desarrollo de gluten (Detchewa *et al.*, 2021).

Según lo reportado en la Tabla 20, el espesor tuvo mayor incidencia en los resultados del factor galletita. Esto se debió a la poca variabilidad de los diámetros obtenidos, diferente del

espesor, el cual fue afectado significativamente ( $p<0.05$ ) por la inclusión de harinas sucedáneas, lo cual repercutió en la variación de los valores promedio del factor galletita.

**Tabla 20: Valores de diámetro (en mm), espesor (en mm) y factor galletita**

| Formulación               | Diámetro (mm)            | Espesor (mm)             | Factor Galletita*       |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| F0 (100% T)               | 51.4 ±0.4 <sup>d</sup>   | 5.1 ±0.09 <sup>cd</sup>  | 10.2 ±0.1 <sup>e</sup>  |
| F1 (65% T +20% K +15% W)  | 49.8 ±0.3 <sup>c</sup>   | 5.3 ±0.17 <sup>f</sup>   | 9.4 ±0.3 <sup>ab</sup>  |
| F2 (40% T +40%K +20% W)   | 49.9 ±0.1 <sup>c</sup>   | 4.9 ±0.03 <sup>b</sup>   | 10.3 ±0.1 <sup>e</sup>  |
| F3 (60% T +24% K +16% W)  | 49.5 ±0.9 <sup>bc</sup>  | 4.9 ±0.17 <sup>b</sup>   | 10.0 ±0.2 <sup>de</sup> |
| F4 (51% T +29% K +20% W)  | 49.3 ±0.6 <sup>b</sup>   | 5.2 ±0.08 <sup>def</sup> | 9.3 ±0.2 <sup>a</sup>   |
| F5 (50% T +40% K +10% W)  | 51.1 ±0.2 <sup>d</sup>   | 4.8 ±0.16 <sup>a</sup>   | 10.6 ±0.1 <sup>f</sup>  |
| F6 (45% T +40% K +15% W)  | 48.3 ± 0.3 <sup>a</sup>  | 4.9 ± 0.04 <sup>bc</sup> | 9.8 ±0.1 <sup>cd</sup>  |
| F7 (50% T +34% K +16% W)  | 49.3 ± 0.1 <sup>bc</sup> | 5.1 ± 0.06 <sup>de</sup> | 9.7 ±0.1 <sup>bc</sup>  |
| F8 (60% T +30% K +10% W)  | 48.6 ± 0.2 <sup>a</sup>  | 5.3 ± 0.13 <sup>f</sup>  | 9.2 ±0.3 <sup>a</sup>   |
| F9 (55% T +29% K +16% W)  | 49.4 ± 0.1 <sup>bc</sup> | 5.2 ± 0.07 <sup>ef</sup> | 9.5 ±0.1 <sup>ab</sup>  |
| F10 (70% T +20% K +10% W) | 49.0 ± 0.1 <sup>a</sup>  | 5.3 ± 0.05 <sup>f</sup>  | 9.3 ±0.1 <sup>a</sup>   |
| F11 (60% T +20% K +20% W) | 49.3 ± 0.5 <sup>b</sup>  | 5.3 ± 0.04 <sup>f</sup>  | 9.2 ±0.1 <sup>a</sup>   |

Letras diferentes en superíndice dentro de una misma columna muestran diferencias significativas entre valores ( $p<0.05$ ). Los datos se indican como la media de tres repeticiones ( $n=6$ ) ± desviación estándar (DE). T: harina de trigo, K; harina de kañiwa, W: harina de tarwi. \*Se calcula como el cociente entre el diámetro y espesor promedios de una galleta.

El desarrollo del espesor de las galletas fue producto de la interacción de la harina de trigo y las harinas sucedáneas. En lo que corresponde al diámetro, se concluyó que la sustitución de harina de trigo generó galletas con menor diámetro en comparación a la formulación control ( $p<0.05$ ). El gluten presente en la harina de trigo generalmente resulta en galletas de un mayor espesor al compararlo con formulaciones con inclusión de harinas sucedáneas (Detchewa et al., 2021); sin embargo, según la Tabla 20, las formulaciones con un nivel de inclusión de harinas sucedáneas mayor al 35% dieron como resultado un mayor factor

galletita, dado que no hubo diferencias altamente significativas para los valores promedio de diámetro.

La reducción del espesor de las galletas podría estar relacionado a un alto contenido graso de las formulaciones (Sudha *et al.*, 2013), originando que el factor galletita se vea incrementado en formulaciones con niveles mayores al 15% de inclusión de harina de tarwi, la cual presenta un alto contenido graso. Si bien las formulaciones con menor cantidad de harina de trigo originan galletas de menor espesor, también se observaron formulaciones con inclusión de harinas sucedáneas que mostraron valores de espesor mayores al control, por lo cual se concluye que el comportamiento del espesor de las galletas también se encuentra afectado por la sinergia existente entre las harinas sucedáneas.

#### 4.3.5. ANÁLISIS DE PROTEÍNAS EN GALLETAS SUSTITUIDAS

En lo que respecta al enfoque nutricional de las galletas obtenidas en el diseño de mezclas, se puede observar en la Tabla 21, que el valor promedio de proteínas en las galletas, presentaron diferencias significativas con respecto a la formulación control ( $p < 0.05$ ). En tanto, para tratamientos con un nivel de sustitución de harina de kañiwa y tarwi máximos, se evidenció una mayor composición en formulaciones con niveles de 20% de inclusión de harina de tarwi. La formulación F2 manifestó un mayor porcentaje promedio de proteínas (14.8) y a su vez, fue significativamente superior a los tratamientos F5, F8 y F10, los cuales no superaron el 10% de harina de tarwi en su formulación.

**Tabla 21: Contenido promedio de proteínas (%)**

| Formulación              | Proteínas totales (%)     |
|--------------------------|---------------------------|
| F0 (100% T)              | 8.32 ±0.014 <sup>a</sup>  |
| F1 (65% T +20% K +15% W) | 14.49 ±0.071 <sup>f</sup> |
| F2 (40% T +40% K +20% W) | 14.79 ±0.028 <sup>g</sup> |
| F3 (60% T +24% K +16% W) | 14.17 ±0.064 <sup>e</sup> |
| F4 (51% T +29% K +20% W) | 14.45 ±0.184 <sup>f</sup> |

<<continuación>>

|                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| F5 (50% T +40% K +10% W)  | 13.24 ±0.042 <sup>c</sup>  |
| F6 (45% T +40% K +15% W)  | 13.78 ±0.014 <sup>d</sup>  |
| F7 (50% T +34% K +16% W)  | 13.78 ±0.021 <sup>d</sup>  |
| F8 (60% T +30% K +10% W)  | 13.20 ±0.007 <sup>c</sup>  |
| F9 (55% T +29% K +16% W)  | 14.45 ±0.021 <sup>f</sup>  |
| F10 (70% T +20% K +10% W) | 13.05 ±0.035 <sup>ab</sup> |
| F11 (60% T +20% K +20% W) | 14.47 ±0.021 <sup>f</sup>  |

Letras diferentes en superíndice dentro de una misma columna muestran diferencias significativas entre valores ( $p < 0.05$ ). Los datos se indican como la media de tres repeticiones ( $n=2$ ) ± desviación estándar (DE). T: harina de trigo, K; harina de kañiwa, W: harina de tarwi.

Se evidenció la alta influencia de las harinas sucedáneas sobre el contenido final de proteínas, especialmente de parte de la harina de tarwi. Esta leguminosa ha mostrado dicha tendencia sobre el valor proteico de los productos finales, como lo reportado por Godoy (2010) quienes evaluaron el efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de arveja dulce de galletas, obteniendo un rango de 11.9 a 13.2%, a medida que el nivel de sustitución aumentó en cada formulación; esto en concordancia con la inclusión mostrada a partir de niveles del 16% de harina de tarwi en la formulación, generando contenido de proteínas por encima del 14.2%.

En lo que respecta a la relación que esta propiedad guarda con las características de textura, (Cárdenas y Verdugo, 2015), realizaron un estudio de la influencia de los diferentes tipos de harina tanto de variantes de trigo como sucedáneas sobre la textura (en términos de dureza o firmeza) de las galletas, y obtuvieron una correlación positiva entre estas propiedades, encontrando una mayor dureza en formulaciones con mayor nivel proteico; lo cual se aduce a una desnaturalización de las proteínas presentes en la harina debido a la alta temperatura, genera un cambio estructural que, unido a la pérdida de humedad, implican un aumento en los atributos de textura de las galletas horneadas.

#### 4.4. OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE LAS VARIABLES RESPUESTA EN LAS GALLETAS SUSTITUIDAS

El proceso de optimización fue llevado a cabo a partir de las propiedades determinadas en las galletas del diseño de mezclas (F1-F11), donde se midió variables fisicoquímicas y reológicas tales como: humedad (%), actividad de agua ( $A_w$ ), luminosidad ( $L^*$ ), factor galletita, firmeza (en gf) y contenido de proteínas (%).

En la Tabla 22 se exponen los resultados promedio de las variables respuesta, diferencia significativa y la desviación estándar obtenida en cada tratamiento.

**Tabla 22: Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis) de las propiedades evaluadas en las galletas del diseño de mezclas**

| Nivel de inclusión % |    |    | Propiedades fisicoquímicas y reológicas de las galletas |                                  |                               |                              |                                 |                               |
|----------------------|----|----|---|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| HW                   | HK | HT | Humedad (%)   | $A_w$                            | $L^*$                         | Factor Galletita             | Firmeza (gf)                    | Proteínas (%)                 |
| 15                   | 20 | 65 | 3.73 <sup>de</sup><br>(0.015)                           | 0.3903 <sup>de</sup><br>(0.0008) | 48.01 <sup>f</sup><br>(0.434) | 9.3 <sup>ab</sup><br>(0.23)  | 722.96 <sup>ab</sup><br>(11.2)  | 14.49 <sup>de</sup><br>(0.07) |
| 20                   | 40 | 40 | 3.37 <sup>b</sup><br>(0.031)                            | 0.3308 <sup>a</sup><br>(0.0099)  | 44.00 <sup>c</sup><br>(0.260) | 10.3 <sup>e</sup><br>(0.08)  | 1043.36 <sup>f</sup><br>(38.62) | 14.79 <sup>g</sup><br>(0.03)  |
| 16                   | 24 | 60 | 3.69 <sup>cde</sup><br>(0.031)                          | 0.3913 <sup>de</sup><br>(0.0033) | 48.12 <sup>f</sup><br>(0.342) | 10.0 <sup>de</sup><br>(0.22) | 829.11 <sup>cd</sup><br>(11.23) | 14.17 <sup>c</sup><br>(0.06)  |
| 20                   | 29 | 51 | 3.71 <sup>de</sup><br>(0.020)                           | 0.3464 <sup>b</sup><br>(0.0058)  | 49.05 <sup>g</sup><br>(0.302) | 9.11 <sup>a</sup><br>(0.18)  | 869.02 <sup>cd</sup><br>(30.44) | 14.45 <sup>d</sup><br>(0.18)  |
| 10                   | 40 | 50 | 3.41 <sup>b</sup><br>(0.026)                            | 0.3824 <sup>cd</sup><br>(0.0008) | 41.14 <sup>a</sup><br>(0.272) | 10.83 <sup>f</sup><br>(0.15) | 985.59 <sup>f</sup><br>(22.98)  | 13.24 <sup>a</sup><br>(0.04)  |
| 15                   | 40 | 45 | 3.33 <sup>a</sup><br>(0.035)                            | 0.3664 <sup>c</sup><br>(0.0028)  | 43.35 <sup>b</sup><br>(0.261) | 9.79 <sup>cd</sup><br>(0.09) | 1243.16 <sup>g</sup><br>(92.06) | 13.63 <sup>b</sup><br>(0.01)  |
| 16                   | 34 | 50 | 3.41 <sup>b</sup><br>(0.025)                            | 0.3738 <sup>cd</sup><br>(0.0044) | 45.69 <sup>d</sup><br>(0.309) | 9.66 <sup>bc</sup><br>(0.11) | 881.95 <sup>de</sup><br>(11.79) | 13.78 <sup>b</sup><br>(0.02)  |
| 10                   | 30 | 60 | 3.64 <sup>cd</sup><br>(0.026)                           | 0.4083 <sup>f</sup><br>(0.0037)  | 47.28 <sup>e</sup><br>(0.248) | 9.17 <sup>a</sup><br>(0.25)  | 972.64 <sup>ef</sup><br>(64.66) | 13.20 <sup>a</sup><br>(0.01)  |

<<continuación>>

|    |    |    |                        |                                  |                              |                           |                               |
|----|----|----|------------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 16 | 29 | 55 | <sup>l</sup> b (0.035) | 0.3815 <sup>cd</sup><br>(0.0013) | (0.434) <sup>ib</sup> (0.11) | 4.27 <sup>f</sup> (90.44) | 14.75 <sup>ef</sup><br>(0.02) |
| 10 | 20 | 70 | <sup>de</sup> (0.085)  | 0.4107 <sup>f</sup><br>(0.0024)  | (0.379) <sup>a</sup> (0.11)  | 5.57 <sup>bc</sup> (8.22) | 13.05 <sup>a</sup><br>(0.04)  |
| 20 | 20 | 60 | <sup>e</sup> c (0.015) | 0.4023 <sup>ef</sup><br>(0.025)  | (0.273) <sup>a</sup> (0.14)  | 5.19 <sup>a</sup> (15.23) | 14.47 <sup>d</sup><br>(0.02)  |

Fn: Formulación. HW: harina de tarwi, HK: harina de kañiwa, HT: harina de trigo. Diferentes letras en superíndice (a, b, c, d, e, f) dentro de una columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre formulaciones.

Los modelos polinomiales de mejor ajuste para las variables evaluadas en las galletas se presentan en la Tabla 23. Se observó que los modelos de interacción de dos factores en las ecuaciones (harina de kañiwa y harina de tarwi) fueron adecuados para las propiedades evaluadas en las 11 formulaciones del diseño de mezclas.

**Tabla 23: Modelos predictivos de las variables estudiadas en las galletas**

| Parámetros                  | Ecuaciones del modelo predictivo   |
|-----------------------------|--|
| Humedad (%)                 | $Y_1 = +3.44A + 2.41B + 4.17C$   |
| Actividad de agua ( $A_w$ ) | $Y_2 = -5.82 \times 10^{-3}A + 0.53B + 0.40C - 1.26AB + 0.87AC - 0.06BC$ |
| Luminosidad ( $L^*$ )       | $Y_3 = 153.3A - 84.17B + 48.3C + 156.82BC + 199.7AC - 197BC$             |
| Firmeza (gf)                | $Y_4 = -21215.8A - 536.2B + 174.2C + 38330.5AB + 25798.7AC + 2469.1BC$   |
| Factor galletita            | $Y_5 = +3.3A + 14.5B + 9.0C$   |
| Contenido de proteínas (%)  | $Y_6 = +26.4A + 11.2B + 12.1C$   |

Donde ( $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6$ ) representan la ecuación de cada parámetro y (A, B, C) representan los componentes: harina de tarwi, kañiwa y trigo respectivamente.

Los resultados con respecto a las variables optimizadas mostraron que, en la ecuación Y4, la interacción AB (harina de tarwi y harina de kañiwa) y, en segundo lugar, la interacción AC causaron un efecto creciente en la variable firmeza (gf) como se puede deducir por los coeficientes positivos mostrados anteriormente.

En contraste a ello, el empleo del componente A de manera independiente, generó una tendencia decreciente en esta propiedad con mayor intensidad, verificándose en los coeficientes negativos de la ecuación. De acuerdo con la ecuación Y5, la cual es de carácter lineal, el coeficiente B resaltó por incidir positivamente en el factor galletita, seguido en menor medida por el factor C. En lo que respecta a la ecuación Y6, referido al contenido de proteínas de las galletas, predominó la influencia del componente A con un coeficiente de +24.6 para esta propiedad.

Con el objetivo de evaluar la importancia de los modelos adecuados para cada propiedad de las galletas, se reportó los resultados de la prueba del tipo ANOVA F como se describe en la Tabla 24. Cada ecuación modelada presentó un análisis relacionado a la prueba de F y p-valor, así como también los términos lineales de la mezcla, términos de interacción (si es que la ecuación es como mínimo, un modelo cuadrático) y las pruebas de bondad de ajuste, los cuales incluyen factores residuales, coeficientes de variabilidad, sumas de cuadrados de error residual y coeficientes de determinación, ajustados y predichos. Para las propiedades evaluadas en el producto final, se establecieron modelos (valor de p en prueba F <0.0001) a distintos valores de coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) altos para variables dependientes tales como: luminosidad, con R<sup>2</sup> (0.9614), R<sup>2</sup> ajustado (0.9595), R<sup>2</sup> predicho (0.9571) y entre las variables escogidas para la obtención de la formulación óptima, resaltó la firmeza con R<sup>2</sup> (0.7681), R<sup>2</sup> ajustado (0.7487), R<sup>2</sup> predicho (0.7313). Contrario a ello, se obtuvieron valores bajos de R<sup>2</sup> (0.5927), R<sup>2</sup> ajustado (0.5867), R<sup>2</sup> predicho (0.7528) para factor galletita y R<sup>2</sup> (0.6496), R<sup>2</sup> ajustado (0.6262), R<sup>2</sup> predicho (0.5979) para el contenido de humedad (%).

Ahora bien, con respecto al término Lack-of-fit obtenido de cada ANOVA, se obtuvo valores significativos ( $p < 0.05$ ), lo que indicaría la necesidad del análisis de un modelo de orden superior y de esta manera aproximarse a una determinación de superficie respuesta real, tal como lo explicado por Stat-Ease (2019).

En contraste a ello, la optimización del presente trabajo busca dar explicación de las variables analizadas en las galletas por intermedio de modelos simples. Por tal motivo, se recurrió a ecuaciones lineales o cuadráticas, las cuales implican términos de interacción lineal y bidireccional. Si bien es cierto, los modelos de orden superior como los cúbicos o cuárticos permiten que los valores de ajuste sean no significativos, la explicación real de dichos modelos no podría establecerse, sobre todo para los objetivos del efecto de los componentes (harinas) sobre las propiedades evaluadas (variables independientes).

En lo que corresponde al coeficiente de variación (CV%), todas las propiedades de las galletas (incluyendo a las optimizadas) presentaron valores de CV menores al 10%, y se obtuvo el menor valor para la luminosidad (1.13%) y el mayor de 9.32% para la variable firmeza. En cuanto a los valores de AdPrec, cabe señalar que todos los valores obtenidos fueron superiores a 4, lo cual explica que los modelos polinomiales elegidos pueden diferenciarse entre formulaciones o tratamientos en cada propiedad determinada en las galletas. Finalmente, la Tabla 24 reporta también, los valores de PRESS variables, siendo el de luminosidad de 35.3 y de menor valor para la firmeza (0.000049).

La prueba F de cada propiedad evaluada en las galletas, fue muy significativa para un valor  $p < 0.001$  (ver Tabla 24). En tanto los términos de mezcla lineal fueron significativos para todas las variables dependientes y los términos de interacción AB, BC y AC fueron significativos ( $p < 0.05$ ) para Aw, luminosidad y firmeza, mientras que el resto de las propiedades no fue significativo (no incluido en la ecuación modelada).

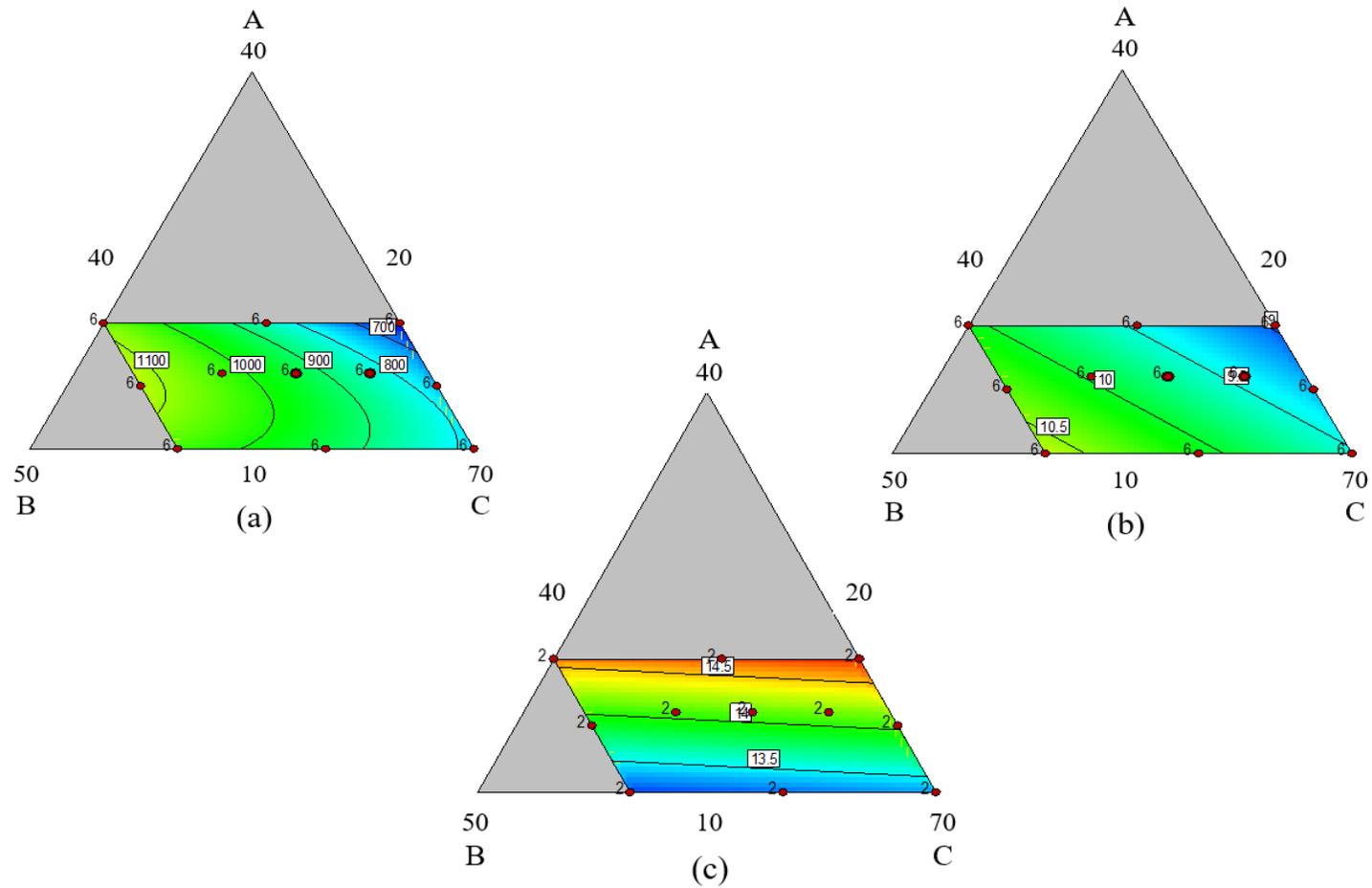
La Tabla 24 expone al detalle, los valores obtenidos del análisis estadístico de varianza-ANOVA y la bondad de ajuste de los modelos de cada propiedad evaluada en las galletas del diseño de mezclas.

En lo que respecta a las gráficas de contorno bidimensional, como se muestra en la Figura 9, para las propiedades evaluadas en las galletas, se explican según lo indicado por Subramonia-Pillai et al. (2017), los cuales describen dichos diagramas mediante cinco tonos graduados de color: rastros de color azul indican valores bajos, azul claro para valores intermedios entre bajo y medio, verde para valores medios, amarillo para valores entre medio y alto y rojo para valores altos. Cabe resaltar que a cada variable respuesta, le corresponde un gráfico bidimensional y tridimensional (ver Anexo 3).

**Tabla 24: Resumen estadístico del análisis de varianza (ANOVA) y bondad de ajuste de los modelos ajustados en las propiedades físicoquímicas y reológicas de las galletas.**

| 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 |
| Humedad (%)            | 27.8<br>(<0.0001)  | 27.8<br>(<0.0001)           | -                 | -                  | -                 | 29.6<br>(<0.0001)  | 3.01   | 0.39    | 0.65           | 0.6262             | 0.5979              | 13.3    |
| Aw                     | 34.7<br>(<0.0001)  | 79.8<br>(<0.0001)           | 0.69<br>(0.42)    | 0.028<br>(0.87)    | 0.38<br>(0.54)    | 24.8<br>(<0.0001)  | 2.57   | 0.004   | 0.87           | 0.8403             | 0.7895              | 19.5    |
| Luminosidad (L*)       | 517.8<br>(<0.0001) | 1097.4<br>(<0.0001)         | 12.1<br>(0.0007)  | 305.4<br>(<0.0001) | 22.5<br>(<0.0001) | 34.6<br>(<0.0001)  | 1.13   | 35.3    | 0.96           | 0.9595             | 0.9571              | 61.1    |
| Firmeza (gf)           | 39.7<br>(<0.0001)  | 89.5<br>(<0.0001)           | 17.02<br>(<0.001) | 1.1<br>(0.29)      | 8.8<br>(0.004)    | 23.6<br>(<0.0001)  | 9.32   | 0.00005 | 0.79           | 0.7487             | 0.7313              | 19.7    |
| Factor galletita       | 44.7<br>(<0.0001)  | 44.7<br>(<0.0001)           | -                 | -                  | -                 | 29.1<br>(<0.0001)  | 4.23   | 11.80   | 0.69           | 0.6867             | 0.6736              | 19.1    |
| Proteínas (%)          | 28.9<br>(<0.0001)  | 28.9<br>(<0.0001)           | -                 | -                  | -                 | 57.9<br>(<0.0001)  | 2.37   | 2.63    | 0.76           | 0.7528             | 0.7268              | 13.1    |

(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).



**Figura 9:** Gráfico de contorno bidimensional que muestra el efecto de las harinas de tarwi (A), kañiwa (B) y trigo (C) sobre las propiedades de firmeza (a), factor galletita (b) y contenido de proteínas (c) de las galletas del diseño de mezclas.

Las superficies de respuesta (ver Figura 9), sugieren que se obtuvieron galletas con mayor valor de firmeza con una combinación de dosis altas-medias de harina de kañiwa B (34-40%) y dosis medias de tarwi A (15-16%) y harina de trigo (55-60%). El factor de extensión se incrementó con dosis medias altas de harina de kañiwa B (30-40%) y dosis medias-bajas de harina de tarwi A (10-20%) y harina de trigo C en dosis medias. Finalmente, la tercera figura muestra que dosis altas de harina de tarwi A (20%), dosis medias-altas de harina de kañiwa B y dosis bajas de harina de trigo C, permitieron obtener galletas con mayor contenido proteico (%). Teniendo en cuenta los factores de calidad esperados, como el factor de dispersión, el contenido de proteínas y la firmeza de la galleta, la mejor formulación fue la que tenía 40% de harina de trigo, 40% de harina de kañiwa y 20% de harina de tarwi (Formulación F2).

Es posible establecer los requisitos de calidad en la obtención de galletas, es posible establecerlos desde el punto de vista del productor y consumidor; donde uno de los factores que el consumidor toma como elección es el relacionado a la textura (expresada en dureza o firmeza) de las galletas, donde se busca que esta propiedad reológica se encuentre acorde a las características de crocantez esperadas en este tipo de productos (Raymundo et al., 2014; Rubio, 2019), así como también el atributo de calidad relacionado a la capacidad de desarrollo del espesor de las galletas expresado por la relación de desarrollo o factor galletita (Detchewa et al., 2021; Kaur et al., 2017). Desde el punto de vista nutricional, se buscó maximizar el contenido de proteínas final de las galletas, debido al contenido de proteínas alto de las harinas sucedáneas (especialmente la harina de tarwi); además, (Fustier et al., 2009) indican la relación positiva existente entre la firmeza de las galletas y la incorporación proteica en la mezcla respectiva (ver Tabla 25).

Con el objetivo determinar la mezcla óptima de harinas, se llevó a cabo la optimización de las variables dependientes, maximizando la firmeza (gf), factor galletita y contenido de proteínas (%). A las características finales de las galletas se le atribuyó el mismo nivel relativo de importancia (igual a 3); obteniendo una formulación óptima a niveles de 40% de harina de trigo, 40% de harina de kañiwa y 20% de harina de tarwi la cual produjo una deseabilidad de 0.635 (ver Figura 10).

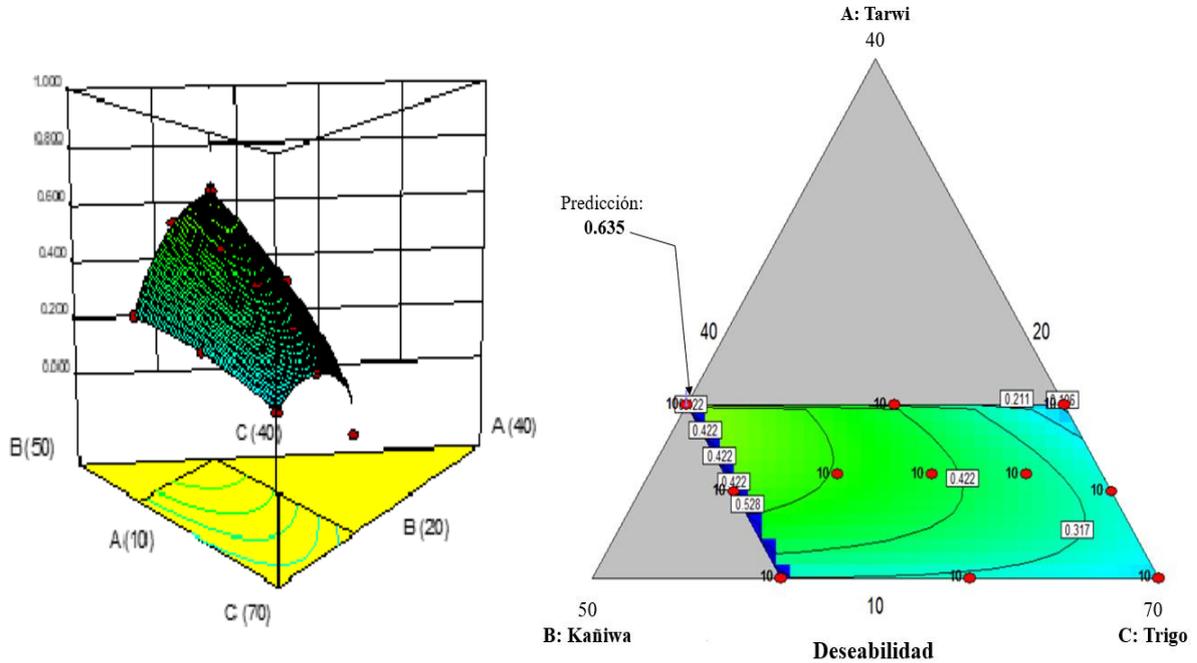
**Tabla 25: Formulación óptima determinada por el análisis de función de deseabilidad en los componentes: harinas de trigo, kañiwa y tarwi y variables respuestas pronosticadas basadas en restricciones aplicadas a variables significativas en galletas**

| VARIABLES                  | Objetivo de optimización | Nivel de importancia | Formulación óptima |
|----------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|
| <b>Independiente</b>       |                          |                      |                    |
| A: Harina de Tarwi         | En rango                 | 3                    | 20%                |
| B: Harina de Kañiwa        | En rango                 | 3                    | 40%                |
| C: Harina de Trigo         | En rango                 | 3                    | 40%                |
| <b>Dependiente</b>         |                          |                      |                    |
| Firmeza (gf)               | Maximización             | 3                    | 1075.43            |
| Factor Galletita           | Maximización             | 3                    | 10.10              |
| Contenido de Proteínas (%) | Maximización             | 3                    | 14.79              |
| Deseabilidad               |                          | 0.635                |                    |

Con respecto a ello, Granato & Ares (2014) sugieren considerar como óptima a aquella mezcla de con valor de deseabilidad mayor a 0.7, sin embargo, esto puede variar según la variabilidad de datos aplicados en cada propiedad medida en el producto final; en concordancia con lo señalado por Sankalia et al. (2004), quienes mencionan que la aplicación de la deseabilidad conjuga todas las respuestas en una medición y ofrece la posibilidad de predecir los niveles óptimos de las variables independientes evaluadas.

La mezcla óptima de harina de trigo y harinas sucedáneas produciría en la galleta obtenida, valores estimados de firmeza: 1075.43 gf; factor galletita: 10.10 y contenido de proteínas (%): 14.79%. Con relación al punto máximo de predicción manifestado en la Figura 10, este fue determinado mediante la optimización numérica de los modelos polinomiales antes expuestos, estableciendo los objetivos de los factores (variables independientes: harinas) en la denominación “en el rango” y el objetivo de las variables respuesta (dependientes) para

proceder a “minimizar” o “maximizar”, siendo este último, el procedimiento escogido en las propiedades de las galletas del diseño de mezclas.



**Figura 10: Contornos tridimensionales (izquierda) y bidimensionales (derecha) de deseabilidad de la predicción de la formulación óptima de harinas de trigo, kañiwa y tarwi determinada por el análisis de función de deseabilidad**

#### 4.5. VALIDACIÓN DE FORMULACIÓN ÓPTIMA

A partir de las características que mostró la formulación óptima, se reportaron los valores promedio de las propiedades evaluadas en las galletas, del cual se desprende el valor predicho de dichas características, el cual fue validado mediante una medición experimental para verificar la variabilidad (Rivero, 2019).

La variable firmeza, factor galletita, contenido de proteínas y actividad acuosa, se encontraron en los rangos establecidos para los límites de confianza al 95%, donde se establecieron valores medios de 1043.4 gf, 10.3, 14.81 y 0.33, respectivamente. Dichos rangos fueron establecidos por el programa *Design Expert*®, a través de del análisis estadístico desarrollado (prueba *t-student*) y no se encontraron diferencias significativas

( $p \geq 0.05$ ) entre los valores experimentales y predictivos de cada variable respuesta (ver Tabla 26).

**Tabla 26: Rangos de validación de las variables respuesta analizadas en la formulación óptima**

| Variable Respuesta | Valor predictivo mínimo | Valor experimental promedio* | Valor predictivo máximo |
|--------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Actividad de agua  | 0.30                    | 0.33                         | 0.33                    |
| Proteínas (%)      | 14.06                   | 14.81                        | 15.2                    |
| Firmeza (gf)       | 979.61                  | 1043.36                      | 1171.24                 |
| Factor galletita   | 9.66                    | 10.32                        | 10.48                   |

Promedio de 2 repeticiones  $\pm$  DE

#### 4.6. CARACTERIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA

La caracterización de la formulación óptima se llevó a cabo mediante los análisis de composición proximal (humedad, proteínas, grasas, carbohidratos, cenizas y fibra dietaria; expresados en bases seca), actividad de agua y actividad antioxidante (%). En la Tabla 27, se exponen los valores promedio obtenidos de cada análisis.

**Tabla 27: Valores promedio de componentes proximales (%)**

| Parámetro                     | Valor promedio  |
|-------------------------------|-----------------|
| Proteínas b.s (%)             | 14.8 $\pm$ 0.02 |
| Carbohidratos totales b.s (%) | 54.2 $\pm$ 0.01 |
| Grasas b.s (%)                | 22.6 $\pm$ 0.02 |
| Fibra dietara soluble (%)     | 0.8 $\pm$ 0.04  |
| Fibra dietaria insoluble (%)  | 11.7 $\pm$ 0.03 |
| Humedad (%)                   | 2.40 $\pm$ 0.02 |

<<continuación>>

|                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| Actividad de agua          | 0.3308 ± 0.0114 |
| Actividad antioxidante (%) | 11.4 ± 0.46     |

Los datos se indican como la media de tres repeticiones (n=3) ± desviación estándar (DE).

En lo que respecta a la actividad antioxidante o actividad captadora del radical DPPH (expresado en %), fue determinada tanto en la formulación óptima (según lo reportado en la Tabla 27) como en las muestras de harina de los tres componentes evaluados en mezcla.

La harina de kañiwa presentó, entre las harinas, la mayor actividad antioxidante (37.4% ± 0.02), seguida de la harina de tarwi con un 22.0% ± 0.01. La actividad de captación o atrapamiento de radicales libres de las harinas sucedáneas indicaron una mayor capacidad con respecto a la harina de trigo (7%). Esta diferencia se pudo evidencia en los estudios realizados por Kaur *et al.* (2017) en el desarrollo de galletas con sustitución de harina de trigo por harina de linaza con valores iniciales actividad antioxidante de 6.4 y 48%, respectivamente.

El mayor porcentaje de actividad antioxidante en las galletas resultantes fue de 12.3% obtenido en la formulación con incorporación del 30% de harina de linaza (sustitución máxima estudiada). En el presente estudio, se obtuvo un porcentaje del 11.4% para la formulación óptima, mostrando valores cercanos a lo antes reportado, en tanto que, las harinas de kañiwa y tarwi no presentaron porcentajes altos como fue el caso de la harina de linaza. Además, estos autores presentaron una disminución en la actividad de DPPH (%) que se presentó en mayor medida para la formulación control (13.4% aproximadamente) comparado con la de mayor sustitución de solo 1.2%; lo cual explican como un efecto mayor del proceso de cocción u horneado sobre la actividad antioxidante de muestras con harina de trigo por sobre las harinas sucedáneas, lo cual podría manifestarse también en las galletas evaluadas en la presente investigación.

La tendencia antes expuesta, también se evidencia en lo trabajado por Ahmed *et al.* (2021) para sustitución de harina de trigo con harina de cebada integral, en donde se evaluó la

actividad de eliminación de radicales libres de DPPH igual a 42% para este tipo de harina de reemplazo; la cual es significativamente superior que la harina de trigo (2%). En lo que respecta al producto horneado, se pudo obtener un 11.6% para un nivel de incorporación de la harina de cebada integral del 40%; lo cual es comparable con lo obtenido en la formulación óptima, a niveles de 60%.

## V. CONCLUSIONES

1. El aumento en el nivel de inclusión de harina de kañiwa, se obtuvo valores altos de factor galletita y firmeza y valores más bajos de humedad, luminosidad y contenido de proteínas. Por otra parte, un aumento de la inclusión de harina de tarwi, dio lugar a galletas más blandas con un valor promedio alto de luminosidad y proteínas, pero menor valor de factor galletita.
2. Las ecuaciones modeladas producto de la optimización del diseño de mezclas permitieron obtener una formulación de galleta sustituida con 40% de harina de kañiwa y 20% de harina de tarwi, con un valor nutricional alto con respecto a la formulación control, además con valores aceptables de firmeza (1075.43 gf), factor galletita (10.10) y contenido de proteínas (14.79%). La validación, por su parte, generó valores de 1043.36 gf, 10.32 y 14.81%, respectivamente.
3. La caracterización de la galleta “óptima” presentó valores de aceptables de humedad (2.4%) y actividad de agua (0.3308), proteínas totales (14.8%), fibra dietaria insoluble (14.7%) y soluble (0.8%) y actividad antioxidante de 11.4%.
4. La formulación óptima elegida por su contenido de proteínas y propiedades reológicas, se puede considerar un producto con atributos importantes, desde el punto de vista funcional.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Realizar análisis relacionados a la fracción de almidón dañado presente en las harinas de trigo y sucedáneas con el objetivo de complementar la información proporcionada por el análisis viscoamilográfico.
- Realizar pruebas sensoriales que permitan evaluar la aceptabilidad general de la formulación control y los tratamientos del diseño de mezclas.
- Establecer una comparación con otros métodos de determinación de capacidad antioxidante, así como también, el análisis de compuestos fenólicos de importancia.
- Impulsar el consumo de harina de tarwi y harina de kañiwa no sólo en galletas sino también en productos de panificación de gran circulación como bolluelos, empanizados, cupcakes, muffins, panes de molde, empanadas, entre otros.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

AACC 10-50.05. (2000). Baking Quality of Cookie Flour. Method . In *AACC International Approved Methods* (p. 7).

AACC 10-53.01. (1999). Baking Quality of Cookie Flour-Macro Wire-Cut Formulation. In *AACC International Approved Methods* (p. 4). <https://doi.org/10.1094/aaccintmethod-10-53.01>

AACC 56-10.02. (2009). Alkaline Water Retention Capacity. In *AACC International Approved Methods* (p. 3). <https://doi.org/10.1094/aaccintmethod-56-10.02>

AACC 76-21.01. (1999). General Pasting Method for Wheat or Rye Flour of Starch Using the Rapid Visco Analyser. In *AACC International Approved Methods* (p. 4). <https://doi.org/10.1094/aaccintmethod-76-21.01>

Ahmed, A. A., El-Deeb, F. E., Abdelazeem, A. A., Hameed, A. M., Alfi, A. A., Alessa, H., & Alrefaei, A. F. (2021). Addition of Whole Barley Flour as a Partial Substitute of Wheat Flour to Enhance the Nutritional Value of Biscuits. *Arabian Journal of Chemistry*, *14*(5), 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103112>

Altenbach, S. B., DuPont, F. M., Kothari, K. M., Chan, R., Johnson, E. L., & Lieu, D. (2003). Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. *Journal of Cereal Science*, *37*(2003), 9–20. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2002.0483>

Apaza, M. (2010, November). Manejo y mejoramiento de kañiwa. *Editorial Altiplano E.I.R.L.*, *1*, 43.

Badui, S. (2013). Salvador Badui Dergal. In *Química de los alimentos*.

- Baltacıoğlu, C., Baltacıoğlu, H., Seyhan, R., Uğur, Ö., & Avcu, O. (2021). Investigation of the effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) powder on biscuit production and effect on quality criteria by Fourier-transform infrared spectroscopy. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15174>
- Bartolo, E., & Dolly, E. (2013). Propiedades nutricionales y antioxidantes de la cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). *Revista de Investigación Universitaria*, 2(1), 47–53. <https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/riu/article/view/713>
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (4th editio). Springer.
- Berna, A. (1995). *Sustitución parcial de harina de trigo integral (Triticum aestivum) por harina de frijol ñuña (Phaseolus vulgaris l.) para la elaboración de fideos*. Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina, Lima-Perú.
- Bourne, M. (2002). *Food texture and viscosity: concept and measurement* (Second Edi).
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*, 28(1), 25–30.
- Bravo, R., Valdivia, R., Andrade, K., Padulosi, S., & Jager, M. (2010). *Granos andinos: avances , logros y experiencias desarrolladas en quinua, canihua y kiwicha en Perú* (Primera Ed). Bioersity International.
- Bustos, M. C., Ramos, M. I., Pérez, G. T., & León, A. E. (2019). Utilization of kañawa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) flour in pasta making. *Journal of Chemistry*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.1155/2019/4385045>
- Calaveras, J. (2004). *Nuevo tratado de panificación y bollería*. Ediciones Mundi Prensa.
- Capurro, J., & Huerta, D. (2016). *Elaboración de galletas fortificadas con sustitucion parcial de harina de trigo por harina de kiwicha (Amaranthus caudatus), quinua (Chenopodium quinoa) y maíz (Zea mays)* [Universidad Nacional del Santa]. <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2629/42894>

.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Cárdenas, M., & Verdugo, A. (2015). Determinación De Las Propiedades De Las Galletas Antes Y Después De Hornear, Realizando Variaciones En La Cantidad De Los Componentes Activos. *Universidad de Los Andes*, 23.
- Carter, B. P., Galloway, M. T., Campbell, G. S., & Carter, A. H. (2015). The critical water activity from dynamic dewpoint isotherms as an indicator of crispness in low moisture cookies. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9(3), 463–470. <https://doi.org/10.1007/s11694-015-9254-3>
- Collar, C., Santos, E., & Rosell, C. M. (2006). Significance of dietary fiber on the viscometric pattern of pasted and gelled flour-fiber blends. *Cereal Chemistry*, 83(4), 370–376. <https://doi.org/10.1094/CC-83-0370>
- Collazos, C. (1975). *La composición de los alimentos peruanos* (Quinta Edición). Ministerio de Salud.
- Colombo, A., Pérez, G. T., Ribotta, P. D., & León, A. E. (2008). A comparative study of physicochemical tests for quality prediction of Argentine wheat flours used as corrector flours and for cookie production. *Journal of Cereal Science*, 48(3), 775–780. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.05.003>
- Contreras, L. (2015). *Desarrollo de una galleta dulce enriquecida con harina de quinua blanca (Chenopodium quinoa) utilizando diseño de mezclas*. [Universidad Nacional Agraria La Molina]. [http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1928/Q02\\_C658](http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1928/Q02_C658) - [T.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1928/Q02\\_C658](http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1928/Q02_C658) - [T.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1928/Q02\\_C658](http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1928/Q02_C658)
- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., & Tang, M. C. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1527–1534. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016>

- 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>
- De Bruin, A. (1964). Investigation of the Food Value of Quinoa and Cañihua Seed. *Journal of Food Science*, 29(6), 872–876. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1964.tb00464.x>
- 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/10.1016.2011.04.023>
- Detchewa, P., Prasajak, P., Sriwichai, W., & Moongngarm, A. (2021). The effects on unripe banana flour on resistant starch content and quality characteristics of gluten-free rice cookies. *Journal of Sustainability Science and Management*, 16(2), 67–78.
- DIGESA. (2022). Especificaciones Técnicas de Alimentos para Prestaciones Sociales. Dirección General de Salud Ambiental. 4 pág.
- Donavan, J. W. (1979). Phase transitions of the starch-water system. *Biopolymers*, 18(1), 263–275.
- Duta, D. E., & Culetu, A. (2015). Evaluation of rheological, physicochemical, thermal, mechanical and sensory properties of oat-based gluten free cookies. *Journal of Food Engineering*, 162(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.04.002>
- Encina-Zelada, C. R., Cadavez, V., Monteiro, F., Teixeira, J. A., & Gonzales-Barron, U. (2019). Optimization of Quality Properties of Gluten-Free Bread by a Mixture Design of Xanthan, Guar, and Hydroxypropyl Methyl Cellulose Gums. *Foods*, 8(156), 1–23. <https://doi.org/doi:10.3390/foods8050156>
- Encomenderos, A. (2019). *Efecto de la sustitución de harina de trigo (Triticum aestivum) por harina de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) sobre las características físicoquímicas y sensoriales de galletas dulces*. Universidad Privada Antenor Orrego.

- Fustier, P., Castaigne, F., Turgeon, S. L., & Biliaderis, C. G. (2009). Impact of commercial soft wheat flour streams on dough rheology and quality attributes of cookies. *Journal of Food Engineering*, 90(2), 228–237. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.026>
- Gaines, C. S. (2000). Collaborative study of methods for solvent retention capacity profiles (AACC Method 56-11). *Cereal Foods World*, 45(1), 303–306.
- García, F. de M. (2016). *Efecto de la Sustitución parcial de harina de Trigo (Triticum aestivum) por harina de Tarwi (Lupinus mutabilis) sobre las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de galleta tipo soda.*
- García, L. (2006). Ampliación de la sección de molienda y cernido de una fábrica de harina de trigo. In *Proyectos de fin de carrera de Ingeniería Química*. Universidad de Cádiz.
- Gimferrer, N. (2009). *Del grano a la harina: molienda y dureza del grano de trigo.* <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/del-grano-a-la-harina.html>
- Godoy, R. M. G. (2010). *Análisis químico, evaluación sensorial y valor proteico de una galleta de harina de trigo (Triticum aestivum) y harina de arveja dulce (Pisum sativum).* Universidad San Carlos de Guatemala.
- Granato, D., & Ares, G. (2014). *Mathematical and statistical methods in food science and technology* (D. Granato & G. Ares (eds.)). John Wiley and Sons Inc.
- Gross, R., Koch, F., Málaga, I., de Miranda, A., Schöneberger, H., & Trugo, L. (1989). Chemical composition and protein quality of some local Andean food sources. *Food Chemistry*, 34(1), 25–34. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(89\)90030-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(89)90030-7)
- Gross, R., von Baer, E., Koch, F., Marquard, R., Trugo, L., & Wink, M. (1988). Chemical Composition of a New Variety of the Andean Lupin ( *Lupinus mutabilis* cv . Inti ) with Low-Alkaloid Content Sample Description. *Journal of Food Composition and Analysis*, 1(1942), 353–361.
- Hleap, J. I., & Velasco, V. A. (2010). Análisis de las propiedades de textura durante el

almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 8(2), 46–56.

Hoseney, R. C., & Rogers, D. E. (1990). The formation and properties of wheat flour doughs. *Food Science and Nutrition*, 29(2), 37–41. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/10408399009527517> PLEASE

Huayna, C. (2016). Optimización de formulación de premezcla para la elaboración de Queque con sustitución parcial de harina de Tarwi (*Lupinus Mutabilis*) y Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) y evaluación de su vida útil [Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú]. In *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3266>

Hurtado, J., & Rodríguez, J. (2011). *Elaboración de una bebida láctea enriquecida con harina de cañihua (chenopodium pallidicaulle) y kiwicha (amaranthus caudatus)* [Universidad Nacional de Trujillo]. [https://minio2.123dok.com/dt02original/123dok\\_es/original/2020/05\\_15/b25h4e1589525751.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=LB63ZNJ2Q66548XDC8M5%2F20200729%2F%2Fs3%2Faws4\\_request&X-Amz-Date=20200729T02](https://minio2.123dok.com/dt02original/123dok_es/original/2020/05_15/b25h4e1589525751.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=LB63ZNJ2Q66548XDC8M5%2F20200729%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200729T02)

Ibarra, K. (2017). *Galletas con sustitución parcial de harina de trigo (Triticum astivum) por harinas de chía (Salvia hispánica L.) y haba (Vicia faba) mediante optimización por diseño de mezclas* [Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo]. [http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1951/T033\\_45826772\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1951/T033_45826772_T.pdf?sequence=1&isAllowed)

INACAL (2016). Norma Técnica Peruana NTP 206.001 (1ª Edición). 2016. Galletas: Requisitos. 2016-08-26. Lima, Perú.

INEI. (2018). Encuesta Nacional Agropecuaria 2017. In *Sistema de Documentación Virtual de Investigaciones Estadísticas* (Vol. 1, Issue 1).

- INIA. (2015, March). El tarwi: alternativa para la lucha contra la desnutrición infantil. *Manual Técnico-Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario-Subdirección de Productos Agrarios*, 64. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/731>
- Jacobsen, S.-E., & Mujica, A. (2006). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *Botanica Economica de Los Andes Centrales-Universidad Mayor de San Andrés*, 2(1), 458–482.
- Kamal, A. H. M., KiHyun, K., DongHoon, S., HyungSeok, S., KwangHyun, S., CheolSoo, P., HwaYoung, H., & SunHee, W. (2009). Proteomics profile of pre-harvest sprouting wheat by using MALDI-TOF Mass Spectrometry. *Department of Crop Science*, 2(3), 110–119.
- Kaur, M., Singh, V., & Kaur, R. (2017). Effect of partial replacement of wheat flour with varying levels of flaxseed flour on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 9, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2016.12.002>
- Kent, N. L. (1993). *Tecnología de los Cereales*. Editorial Acribia.356pp.
- Kohli, M. M., & Martino, D. (1998). Explorando altos rendimientos de trigo. In C. INIA (Ed.), *INIA CIMMYT* (p. 339).
- León, A. E., Rosell, C., Gómez, M., Brites, C., Haros, M., Trigo, M., Pedroza, R., Pérez, E., Gularte, M., Igrejas, G., Collar, C., Repo-Carrasco, R., Cortez, G., Onofre, R., Quispe, L., Ramos, I., Puppo, M., Ribotta, P., Añón, M., ... Benedito, C. (2007). *De tales harinas, tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica* (H. Báez (ed.); Primera ed).
- León, A. E., Rubiolo, A., & Anon, M. C. (1996). Use of Triticale in cookies: Quality factors. *Cereal Chemistry*, 73(6), 779–784.
- Lescano, J. L. (1989). *Recursos fitogenéticos altoandinos y bancos de germoplasma*. En: *Curso: "Cultivos altoandinos". Quinoa, kañiwa, tarwi, kiwicha, papa amarga, olluco,*

*mashua y oca*. Programa Interinstitucional de Waru Waru.

- Lewis, M., & Heppell, N. (2000). Continuous thermal processing of foods: pasteurization and UHT sterilization. In *Food Science and Nutrition*. Springer. Aspen Publishers.
- Luna-Mercado, G. I., & Repo-Carrasco-Valencia, R. (2021). Gluten-free bread applications: Thermo-mechanical and techno-functional characterization of Kañiwa flour. *Cereal Chemistry*, 98(3), 474–481. <https://doi.org/10.1002/cche.10386>
- Machado-Alencar, N., Steel, C. J., Alvim, I. D., Carvalho de Morais, E., & Andre Bolini, H. M. (2015). Addition of quinoa and amaranth flour in gluten-free breads: Temporal profile and instrumental analysis. *LWT - Food Science and Technology*, 62(2), 1011–1018. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.02.029>
- Mamani, E., & Molina, C. (2016). *Calidad proteica y grado de satisfacción de la galleta elaborada a base de mezclas de tarwi, cushucho, cañihua y gluten*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Martínez, A. G. (2010). *Preelaboración y conservación de alimentos* (P. Edición (ed.)). Ediciones Akal.
- Matz, S. (1999). *Bakery Technology and Engineering* (Third Edit). Pan-Tech International.
- Motta Romero, H., Santra, D., Rose, D., & Zhang, Y. (2017). Dough rheological properties and texture of gluten-free pasta based on proso millet flour. *Journal of Cereal Science*, 74(16), 238–243. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.014>
- Navarrete, M. (2010). *Extracción, refinación y caracterización fisicoquímica y nutracéutica del aceite de chocho (Lupinus mutabilis sweet)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador.
- Pauro, T. (2017). *Evaluación del comportamiento de almidones y harinas de dos variedades de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) procesada para la preparación de harinas precocidas*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

- Peña, R. j, Zarco-Hernández, J., Amaya-Celis, A., & Mujeeb-Kazi, A. (1994). Relaciones entre las composiciones de subunidades de glutenina codificadas por IB y las características de calidad de panificación de algunos cultivares de trigo duro (*Triticum turgidum*). *Journal of Cereal Science*, 19(1), 243–249.
- PRODUCE. (2011). *Manual de organización de funciones: Actividades económicas* (p. 585). Ministerio de la Producción.
- Puma-Isuiza, G., Liñan Perez, J., Coavoy Sánchez, I., Coronado Olano, J., Salas, W., & Vargas Delgado, L. (2018). Vida en anaquel de galletas saladas utilizando pruebas aceleradas. *Anales Científicos*, 79(1), 218–225. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i1.1166>
- Puntal. (2009). *Guía Marco de Prácticas Correctas en el sector de la fabricación de galletas*. (F. Ducceschi (ed.); Primera Ed). Asociación Profesional de Fabricantes de Galletas de España (APROGA). [http://www.mapama.gob.es/es/alimentacion/temas/industria-agroalimentaria/Guía\\_Marco\\_Prácticas\\_Fabricación\\_de\\_galletas\\_tcm7-203291.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/alimentacion/temas/industria-agroalimentaria/Guía_Marco_Prácticas_Fabricación_de_galletas_tcm7-203291.pdf)
- Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products - A review. *Journal of Food Engineering*, 99(3), 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008>
- Ramos Diaz, J. M., Suuronen, J. P., Deegan, K. C., Serimaa, R., Tuorila, H., & Jouppila, K. (2015). Physical and sensory characteristics of corn-based extruded snacks containing amaranth, quinoa and kañiwa flour. *Lwt*, 64(2), 1047–1056. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.011>
- Ramos, F. (2013). *Maíz, trigo y arroz: los cereales que alimentan al mundo* (Primera Ed). Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ranok, A., Dissamal, P., Kupradit, C., Khongla, C., Musika, S., & Mangkalan, S. (2021). Physicochemical properties and antioxidant activity of gluten-free riceberry-cheese cracker under simulated gastrointestinal transit. *Journal of Food Science and Technology*, 58(7), 2825–2833. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-04978-w>
- Raymundo, A., Fradinho, P., & Nunes, M. C. (2014). *Effect of Psyllium fi bre content on*

*the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough*. 3, 96–105.  
<https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.03.001>

Repo-Carrasco, R. (1988). *Cultivos andinos. Importancia Nutricional y Posibilidades de procesamiento*. Centro de Estudios Rurales Andinos (Primera Ed).

Repo-Carrasco, R. (1992). Cultivos andinos y la alimentación infantil. In *Comisión de Coordinación de Tecnología Andina-CCTA*.

Repo-Carrasco, R. (1998). *Introducción a la ciencia y tecnología de cereales y de granos andinos*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Repo-Carrasco, R., Acevedo-De la Cruz, A., Icochea, J. C., & Kallio, H. (2009). Chemical and functional characterization of kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) grain, extrudate and bran. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64(2), 94–101.  
<https://doi.org/10.1007/s11130-009-0109-0>

Repo-Carrasco, R., & Encina, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y Kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Revista Sociedad Química Perú*, 71(2), 85–99.

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., Vidaurre-Ruiz, J., & Luna-Mercado, I. (2020). Development of gluten-free breads using Andean Native grains quinoa, kañiwa, kiwicha and tarwi. *MDPI Journal-Proceedings*, 53(15), 1–5. <https://doi.org/10.3390/proceedings2020053015>

Rivero, D. (2019). *Efecto de tratamientos térmicos y aditivos alimentarios sobre la pungencia y el color en la obtención de un producto a base de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*)*. Corporación Universitaria Lasallista. Medellín, Antioquía-Perú.

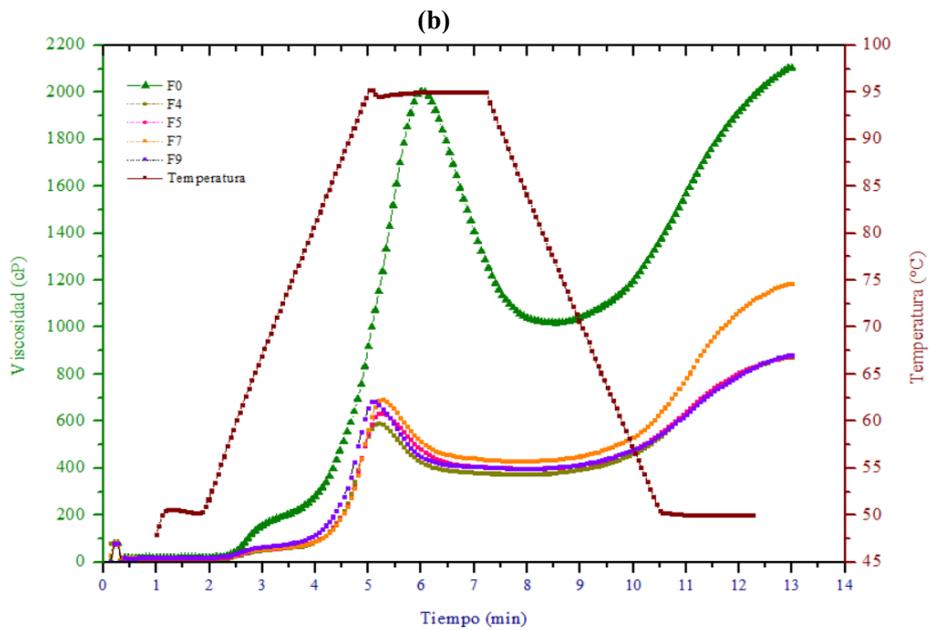
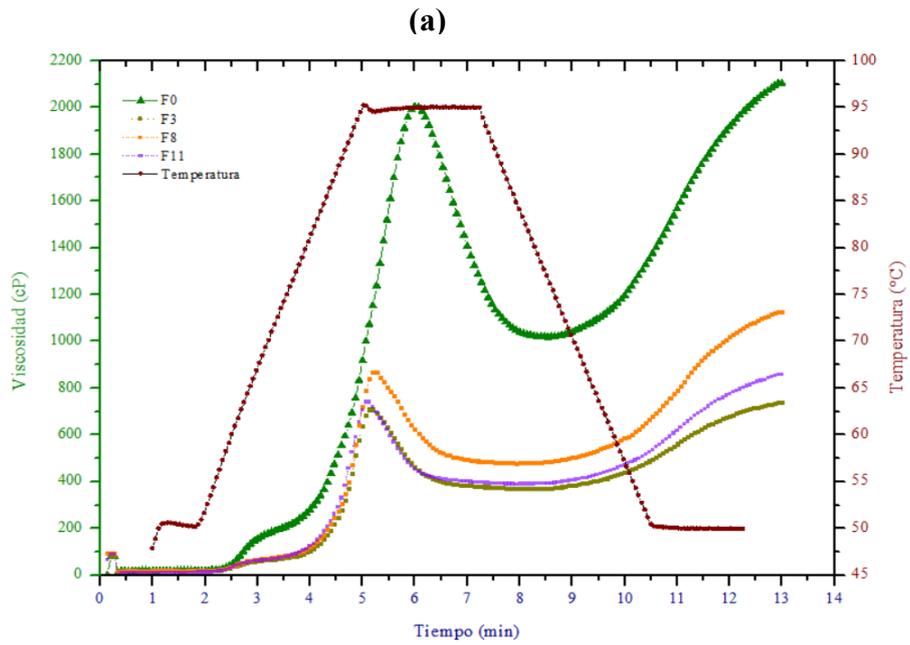
- Rodríguez, A. (2009). *Evaluación “in vitro” de la actividad antibacteriana de los alcaloides del agua de desamargado del chocho (Lupinus mutabilis sweet)* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador]. <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/1468/1/34T00246.pdf>
- Romani, S., Rocculi, P., Mendoza, F., & Dalla Rosa, M. (2009). Image characterization of potato chip appearance during frying. *Journal of Food Engineering*, 93(4), 487–494. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.02.017>
- Rosell, C., Cortez, G., & Repo-Carrasco, R. (2009). Breadmaking Use of Andean Crops Quinoa, Kañiwa, Kiwicha, and Tarwi. *Cereal Chemistry*, 86(4), 386–392.
- Rubio, M. (2019). *Sustitución total o parcial de la sacarosa por oligofructosa e isomaltulosa en galletas*. Universidad Politécnica de Valencia-Valencia, España.
- Sabillón, L., Stratton, J., Rose, D., Eskridge, K., & Bianchini, A. (2021). Effect of high-pressure processing on the microbial load and functionality of sugar-cookie dough. *Cereal Chemistry*, 98(1), 70–80. <https://doi.org/10.1002/cche.10377>
- Salazar, D., Arancibia, M., Rodr, R., & Bed, M. (2021). Characterization and Technological Potential of Underutilized Ancestral Andean Crop Flours from Ecuador. *Agronomy*. *MDPI*, 11(1693), 1–28. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091693%0AAcademic>
- Sankalia, M. G., Mashru, R. C., Sankalia, J. M., & Sutariya, V. B. (2004). Evaluation and simultaneous optimization of papain entrapped in crosslinked alginate beads using 33 factorial design and the desirability function. *Ars Pharmaceutica*, 45(3), 253–279.
- Saunders, J., Izydorczyk, M., & Levin, D. B. (2011). Limitations and Challenges for Wheat-Based Bioethanol Production. In M. A. Santos, Dos-Bernardes (Ed.), *Economic Effects of Biofuel Production* (pp. 429–452).
- Serna-Saldívar, S. O. (2009). Research developments in the science, technology and nutritional value of maize-based nixtamalized foods. *ICC Book of Ethnic Cereal-Based Foods across the Continents*, 1(1), 133–163.

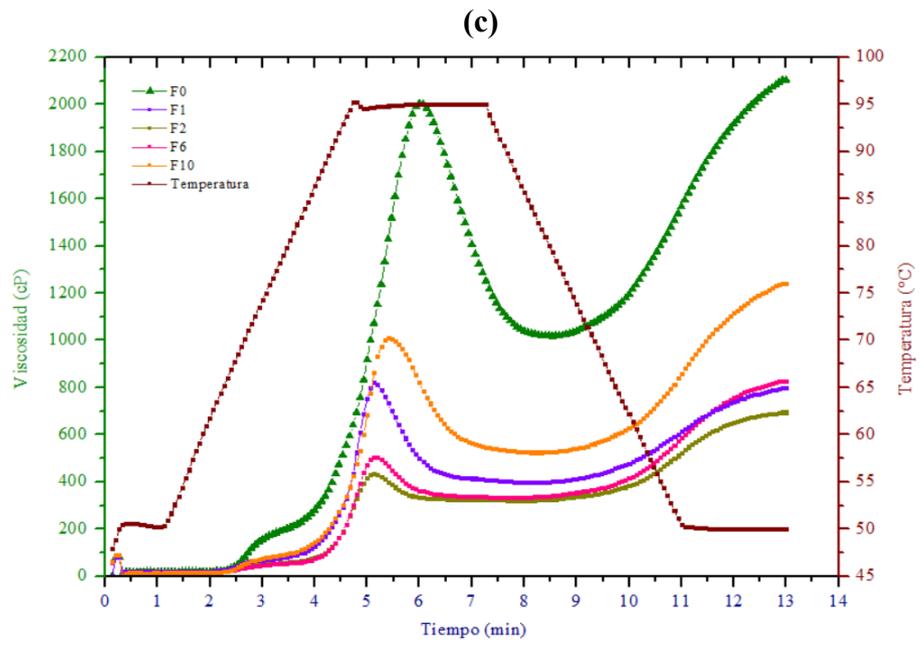
- Stat-Ease. (2019). Handbook for experiments: A concise collection o handy tips to help you set up and analyze your designed experiments. In *Stat-Ease, Inc.* (p. 73). [https://www.statease.com/pubs/handbk\\_for\\_exp\\_%0Asv.pdf](https://www.statease.com/pubs/handbk_for_exp_%0Asv.pdf)
- Steffolani, M. E., León, A. E., & Pérez, G. T. (2013). Study of the physicochemical and functional characterization of quinoa and kañiwa starches. *Starch/Starke*, *65*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1002/star.201200286>
- Subramonia-Pillai, N., Seeni-Kannan, P., Vettivel, S. C., & Suresh, S. (2017). Optimization of transesterification of biodiesel using green catalyst derived from Albizia Lebbeck Pods by mixture design. *Renewable Energy*, *104*, 185–196. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.035>
- Sudha, M. L., Chetana, R., & Reddy, S. Y. (2013). Effect of microencapsulated fat powders on rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(12), 3984–3990. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0936-8>
- Symons, L. J., & Brennan, C. S. (2004). The effect of barley  $\beta$ -glucan fiber fractions on starch gelatinization and pasting characteristics. *Journal of Food Science*, *69*(4), 257–261. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb06325.x>
- Tester, R. F., & Debon, S. J. (2000). Annealing of starch: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *27*(1), 1–12. [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(99\)00121-X](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(99)00121-X)
- Torpoco, N. (2014). *Evaluacion de la calidad panadera de cuatro líneas promisorias de trigo de la estacion experimental Santa Ana INIA-Huancayo*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo-Perú.
- Torri, C. L., Ribotta, P. D., Morcillo, M. H., Rubiolo, O. J., Pérez, G. T., & León, A. E. (2003). Influencia del contenido de almidón dañado sobre la calidad galletitera en harinas de triticale. *Agriscientia*, *20*(1), 1–7. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v20.n0.2824>

- Tufvesson, F., Wahlgren, M., & Eliasson, A. C. (2003). Formation of amylose-lipid complexes and effects of temperature treatment - Part 1. Monoglycerides. *Starch/Staerke*, 55(2), 61–71. <https://doi.org/10.1002/star.200390018>
- Vidaurre-Ruiz, J. M., Salas-Valeri, W. F., & Carrasco-Valencia, R. (2019). Propiedades de pasta y texturales de las mezclas de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*) en un sistema acuoso. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(1), 5–14. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v21n1/a01v21n1.pdf>
- Vivanco, G. (2018). *Efecto de tres tratamientos de desamargado de grano de tarwi (Lupinus mutabilis Sweet) en el contenido de grasa*. Universidad Nacional José María Arguedas, Apurímac-Perú.
- Wang, L., & Weller, C. L. (2006). *Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants*. 17, 300–312. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.004>
- White, P., Alvistur, E., Dias, C., Vinas, E., White, H., & Collazos, C. (1955). Nutrient content and protein quality of quinoa and canihua, edible seed products of the Andes Mountains. *Journal Agric Food Chem*, 6(1), 531–534.

## VII. ANEXOS

### ANEXO 1: GRÁFICAS DE COMPARACIÓN DE ANÁLISIS RVA PARA PROPIEDADES DE EMPASTE.





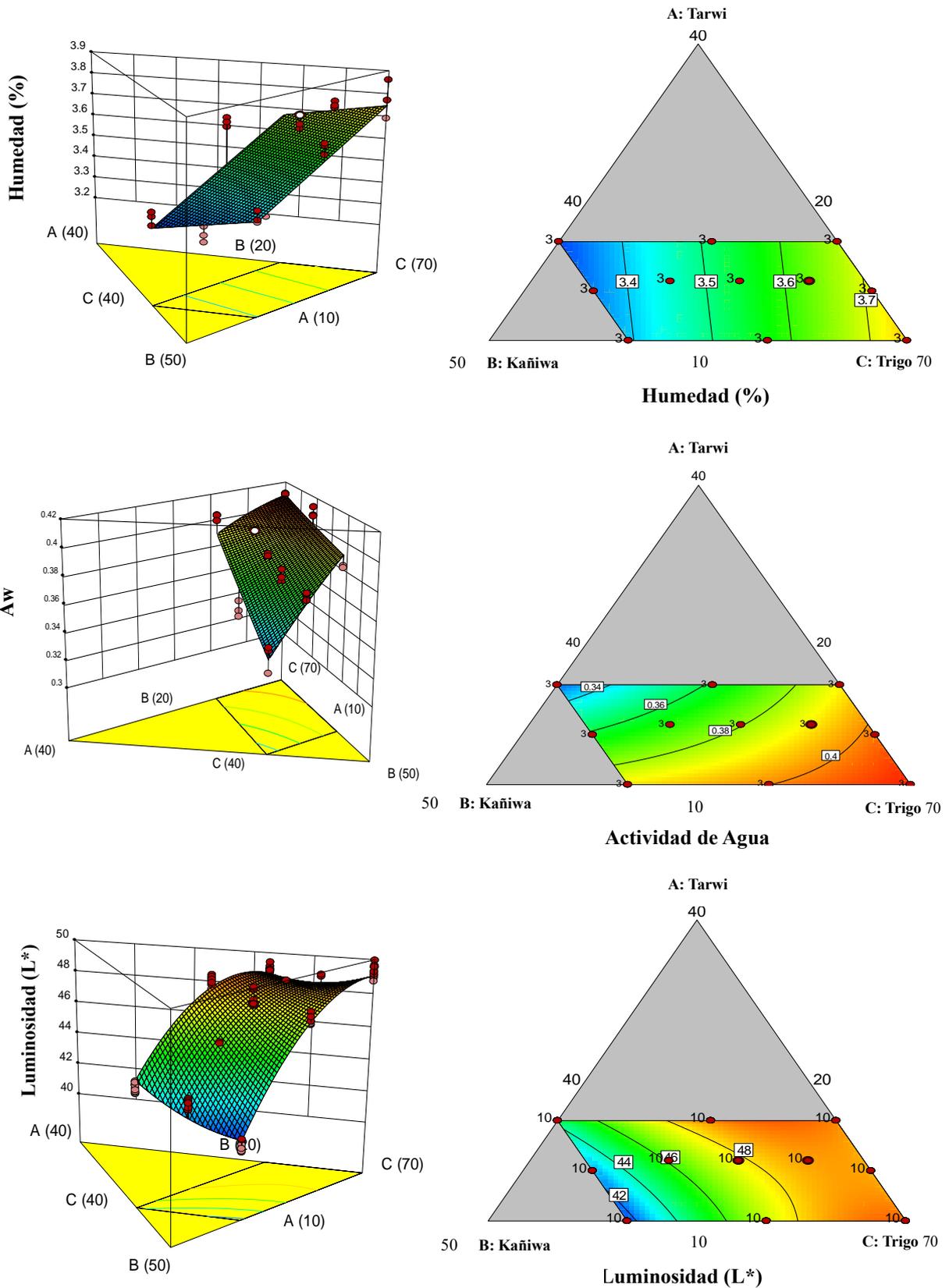
Donde (a): comparación de  $f_0$ ,  $f_3$ ,  $f_8$  y  $f_{11}$ ; (b): comparación de  $f_0$ ,  $f_4$ ,  $f_5$ ,  $f_7$  y  $f_9$ ; (c): comparación de  $f_0$ ,  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_6$  y  $f_{10}$ .

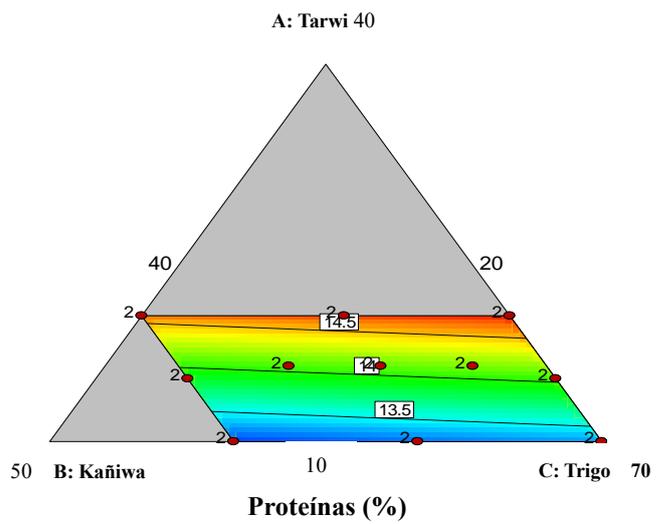
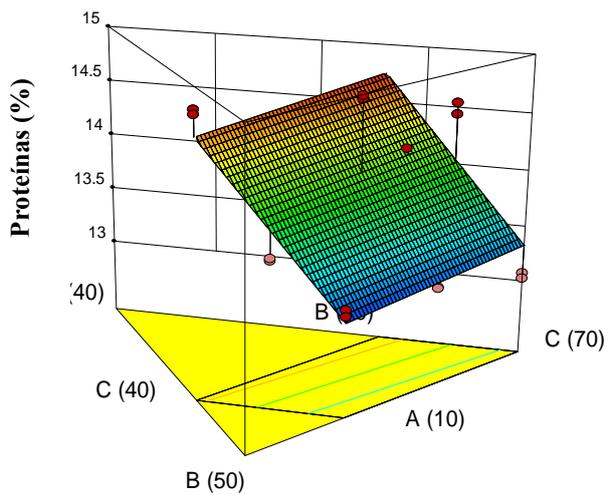
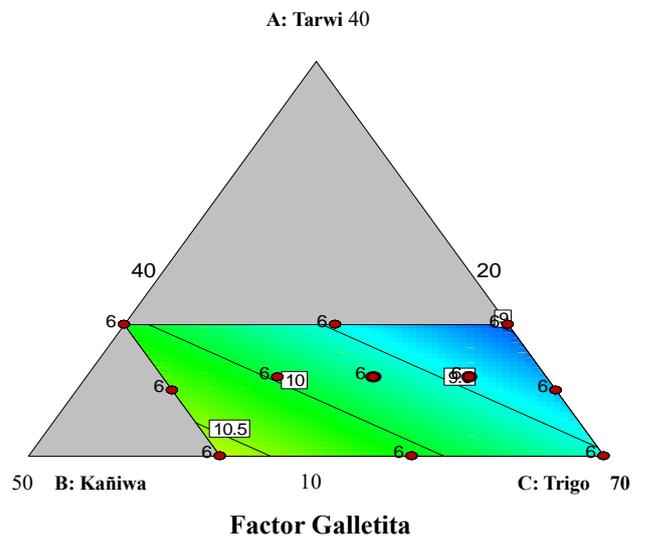
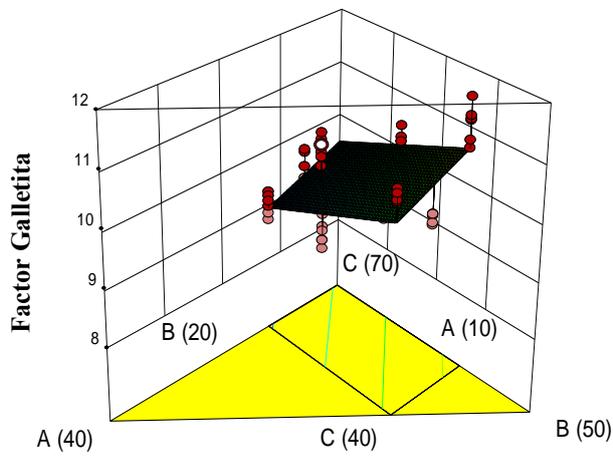
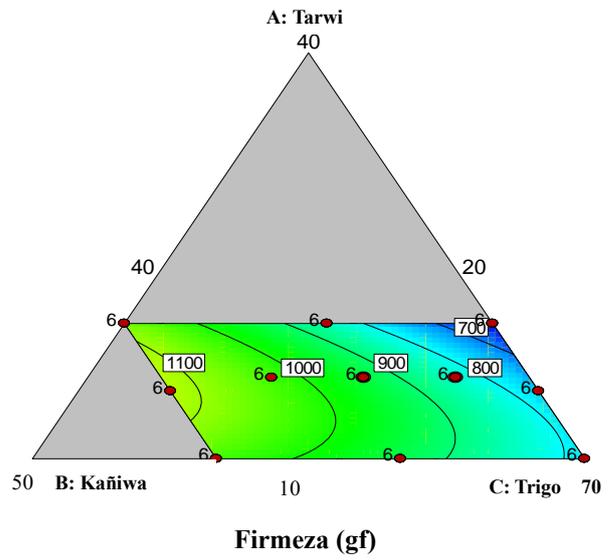
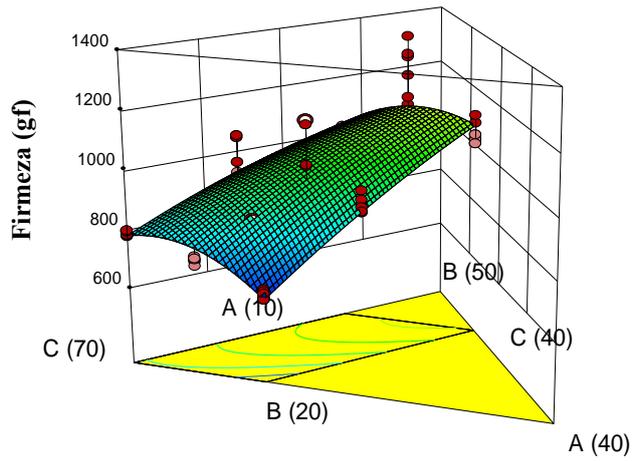
**ANEXO 2: GRÁFICOS SUPERFICIALES DE LAS GALLETAS (FORMULACIÓN CONTROL Y TRATAMIENTOS DEL DISEÑO DE MEZCLAS)**



**Figura 1: Imágenes superficiales de las galletas producidas por la variación de harinas de trigo, kañiwa y tarwi.**

**ANEXO 3: EFECTO DE LOS COMPONENTES QUE MUESTRAN EL EFECTO DE LAS HARINAS DE TARWI (A), KAÑIWA (B) Y TRIGO (C) EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y REOLÓGICAS DE LAS GALLETAS.**





## ANEXO 4: ELABORACIÓN Y OBTENCIÓN DE LA GALLETA ÓPTIMA



**Harina de trigo y sucedáneas**



**Boleado de masas**



**Laminado  
y cortado**



**Horneado de galletas**

**Galleta óptima**

