

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“ELABORACIÓN DE PAN SIN GLUTEN UTILIZANDO HARINA DE
CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule*), ARROZ (*Oryza sativa*) Y
ALMIDÓN DE MAÍZ (*Zea mays*)”**

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

CAROLY ISABEL ALBERCO LAYMITO

LIMA – PERÚ





















2023

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

Document Information

Analyzed document	BORRADOR DE TESIS 10.07.22.docx (D141917408)
Submitted	7/10/2022 8:15:00 PM
Submitted by	CHRISTIAN R. ENCINA ZELADA
Submitter email	cencina@lamolina.edu.pe
Similarity	8%
Analysis address	cencina.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / Documento de Tesis - GUTIERREZ CASTILLO...docx Document Documento de Tesis - GUTIERREZ CASTILLO...docx (D134843933) Submitted by: cencina@lamolina.edu.pe Receiver: cencina.unalm@analysis.arkund.com	 7
W	URL: https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n5660_Loubes.pdf Fetched: 7/10/2022 8:15:00 PM	 39
W	URL: https://www.diariovoces.com.pe/124066/valor-nutricional-canihua Fetched: 7/10/2022 8:15:09 PM	 1
W	URL: https://repositorio.usil.edu.pe/bitstreams/9c01cba9-d58e-4d25-86e4-7e4b13fe264c/download Fetched: 5/27/2022 10:42:19 PM	 3
W	URL: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182019000500561 Fetched: 4/10/2022 1:26:37 AM	 5
W	URL: https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/32131/TFM-L402.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 7/10/2022 8:15:00 PM	 14
W	URL: https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914108.pdf Fetched: 7/10/2022 8:15:00 PM	 4
W	URL: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6147/Pauro_Quilli_Tania_Erika.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 5/29/2022 1:45:29 AM	 7
W	URL: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952013000100001 Fetched: 7/10/2022 8:15:00 PM	 4
W	URL: https://www.horizontemedico.usmp.edu.pe/index.php/horizontemed/article/view/224/239 Fetched: 5/24/2022 6:08:53 PM	 2
W	URL: https://www.sac.edu/StudentServices/Veterans/Documents/Level%203-PlacementTestStudy.pdf Fetched: 5/16/2021 7:37:53 PM	 1
W	URL: https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/36911/TFG-M-N1619.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 7/10/2022 8:15:00 PM	 1
W	URL: https://dergipark.org.tr/en/pub/jaefs/issue/36542/432180 Fetched: 12/15/2020 9:50:19 AM	 1
SA	ACI-2017-012_v0.docx Document ACI-2017-012_v0.docx (D30250058)	 1
W	URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8701227/ Fetched: 4/27/2022 7:48:19 PM	 1
W	URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1295/1/012052/pdf Fetched: 4/9/2020 2:43:17 PM	 1
SA	TESIS_JoverYoker_20042021.docx Document TESIS_JoverYoker_20042021.docx (D102329510)	 1
W	URL: https://nuft.edu.ua/doi/doc/ufj/2019/3/10.pdf Fetched: 4/28/2022 1:43:42 PM	 2
W	URL: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/151184/Huamanchumo%20-%20Pseudocereales%20andinos:%20valor%20nutritivo%20y%20aplicaciones%20para%20alimentos%20libres%20de%20glu...pdf?sequence=1 Fetched: 12/3/2020 10:11:14 AM	 2
SA	proyecto de tesis; Jover,.pdf Document proyecto de tesis; Jover,.pdf (D58333449)	 1

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**“ELABORACIÓN DE PAN SIN GLUTEN UTILIZANDO HARINA DE
CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule*), ARROZ (*Oryza sativa*) Y
ALMIDÓN DE MAÍZ (*Zea mays*)”**

Presentado por:

CAROLY ISABEL ALBERCO LAYMITO

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

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

M.Sc. Gloria Pascual Chagman

PRESIDENTE

Julio Vidaurre Ruiz, PhD.

MIEMBRO

Mg.Sc. Silvia Melgarejo Cabello

MIEMBRO

Dr. Christian Encina Zelada

ASESOR

Ritva Repo de Carrasco, PhD.

CO-ASESORA

Lima – Perú

2023

DEDICATORIA

A Dios, porque me guía en todo el camino de la vida y me da la oportunidad de poder disfrutar de mi familia cada día.

A mis padres por todo su apoyo, esfuerzo y comprensión, por todos sus sacrificios y consejos y por enseñarme a ser una mejor persona.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor Dr. Christian Encina Zelada, por la disposición de apoyarme cuando lo necesité y por los comentarios y sugerencias, en busca de la mejora de mi trabajo, las cuales me ayudaron a enriquecer la presente tesis.

A mi co-asesora PhD. Ritva Repo de Carrasco por todas las oportunidades brindadas para poder realizar esta investigación, asimismo el permiso del laboratorio del Centro de Investigación e Innovación en Productos Derivados de Cultivos Andinos (CIINCA).

A mi compañera Carla Gutiérrez Castillo, por el apoyo con el uso de los programas de análisis y las capacitaciones de los equipos del laboratorio del CIINCA.

A la Financiación de la 11° CONVOCATORIA PARA SUBVENCIÓN DE TESIS DE PREGRADO 2021 por parte del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. PAN.....	2
2.2. TECNOLOGÍA Y VALOR NUTRICIONAL DEL PAN SIN GLUTEN	2
2.3. INGREDIENTES DE PANIFICACIÓN.....	5
2.4. CELIAQUÍA.....	13
2.5. EVALUACIÓN DE LA REOLOGIA Y TEXTURA DE LOS BATIDOS LIBRES DE GLUTEN	14
2.6. MÉTODO PARA OPTIMIZAR CON DISEÑO DE MEZCLAS.....	17
III. METODOLOGÍA	20
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	20
3.2. MATERIAS PRIMAS E INSUMOS	20
3.3. MATERIALES DE PROCESO Y EQUIPOS.....	20
3.4. METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE EVALUACIÓN	21
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	26
3.6. FASES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	29
3.7. EVALUACIONES ESTADÍSTICAS	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1. PROPIEDADES DE LAS HARINAS Y SUS MEZCLAS	37
4.2. PROPIEDADES DE LOS BATIDOS.....	52
4.3. PROPIEDADES DEL PAN DE MOLDE LIBRE DE GLUTEN	61
4.4. DESARROLLO SIMULTÁNEO PARA OBTENER EL PAN ÓPTIMO LIBRE DE GLUTEN	86
4.5. CORROBORACIÓN DE RESULTADOS EN EL PAN ÓPTIMO LIBRE DE GLUTEN	89
4.6. CARACTERIZACIÓN DEL PAN ÓPTIMO LIBRE DE GLUTEN.....	90
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	93

VI. RECOMENDACIONES.....	94
VII. BIBLIOGRAFÍA	95
VIII. ANEXOS	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Información nutricional de la harina de cañihua	6
Tabla 2: Información nutricional de la harina de arroz	7
Tabla 3: Información nutricional del almidón de maíz	8
Tabla 4 : Color de acuerdo a los CROMAS	22
Tabla 5: Ingredientes en la elaboración de pan sin gluten.....	26
Tabla 6: Restricción mínima y máxima para la elaboración de pan sin gluten	29
Tabla 7: Formulaciones del pan sin gluten con Diseño de Mezclas.....	29
Tabla 8: Colorimetría de las materias primas	34
Tabla 9: Colorimetría de las mezclas en las formulaciones.....	35
Tabla 10: Perfil viscoamilográfico de las harinas.....	40
Tabla 11: Perfil viscoamilográfico de las mezclas de las harinas	41
Tabla 12: Análisis de varianza de las viscosidades.....	42
Tabla 13: Ecuaciones obtenidas de las viscosidades.....	43
Tabla 14: Propiedades texturales de los batidos sin gluten	52
Tabla 15: Ecuaciones obtenidas en las propiedades de textura en los batidos sin gluten	53
Tabla 16: Valores del método estadístico (ANOVA) y ajuste del modelo estadístico sobre las propiedades de textura en los batidos libres de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua	54
Tabla 17: Colorimetría de los batidos obtenidos a partir de las mezclas de las harinas..	60
Tabla 18: Análisis de colorimetría en la miga y corteza del pan sin gluten.....	61
Tabla 19: Valores de las variables respuesta del pan libre gluten.....	64
Tabla 20: Ecuaciones obtenidas que muestran el comportamiento del almidón de maíz (A), harina de arroz (B) y harina de cañihua (C) sobre las variables respuesta	65

Tabla 21: Valores del método estadístico (ANOVA) y ajuste del modelo estadístico sobre las variables respuesta en el pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua.....	66
Tabla 22: Valores medios de las propiedades texturales del pan a base de almidón de maíz (AM), harina de arroz (HA) y harina de cañihua (HC)	75
Tabla 23: Ecuaciones predichas sobre el comportamiento de textura en el pan sin gluten	76
Tabla 24: Valores del método estadístico (ANOVA) y ajuste del modelo estadístico en la textura del pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua	77
Tabla 25: Valores óptimos de las variables dependiente e independiente en el pan libre de gluten	86
Tabla 26: Resultados experimentales obtenidos de las variables respuesta en el pan óptimo libre de gluten	89
Tabla 27: Valores predichos (mínimo y máximo) y valores experimentales promedio .	90
Tabla 28: Composición proximal y características fisicoquímicas (humedad y a_w) en el pan óptimo libre de gluten	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Etapa de calentamiento y enfriamiento	15
Figura 2: Amilograma de la Harina de Trigo	15
Figura 3: Perfil de textura obtenido con el texturómetro Instron	16
Figura 4: Diseño centroide simplex para experimento de mezclas con tres componentes	19
Figura 5: Diagrama del espacio de color CIELAB	22
Figura 6: Representación esquemática del viscoamilograma del almidón, obtenido en un analizador rápido de viscosidad (RVA) y parámetros característicos	25
Figura 7: Esquema de operaciones para obtener pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua	27
Figura 8: Fases de la investigación para la obtención de pan libre gluten con harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz.....	31
Figura 9: Esquema general de la investigación del pan sin gluten.....	32
Figura 10: Perfil viscoamilográfico de la harina de cañihua.....	39
Figura 11: Perfil viscoamilográfico del almidón de maíz.....	39
Figura 12: Perfil viscoamilográfico de la harina de arroz.....	39
Figura 13: La temperatura y la viscosidad de la mezcla en las formulaciones M4, M5, M7 y M9 en función al tiempo.....	44
Figura 14: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de viscosidad pico (VP).....	45
Figura 15: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de viscosidad de caída (VP).....	46
Figura 16: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de breakdown (BR)	47
Figura 17: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de setback (cP).....	48
Figura 18: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de viscosidad final (VF)	51
Figura 19: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harinas en la propiedad de firmeza(N)	56
Figura 20: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de consistencia (N.s)	57

Figura 21: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de cohesividad (N).....	58
Figura 22: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de índice de viscosidad (N.s)	59
Figura 23: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en el volumen específico (cm^3/g)	67
Figura 24: Imágenes representativas 3D en las diez formulaciones.....	69
Figura 25: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz sobre la densidad alveolar ($\text{n}^\circ\text{células}/\text{cm}^2$).....	71
Figura 26: Imágenes del alveolado de la miga de las 10 formulaciones (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10) en el pan sin gluten elaborado a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua	73
Figura 27: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz sobre la luminosidad de la miga del pan sin gluten	74
Figura 28: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz sobre la dureza de la miga del pan sin gluten.....	778
Figura 29: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz sobre la masticabilidad la miga del pan sin gluten.....	82
Figura 30: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz sobre la cohesividad de la miga del pan sin gluten	83
Figura 31: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz sobre la elasticidad	85
Figura 32: Diseño gráfico de la deseabilidad en el pan óptimo libre gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua	86
Figura 33: Imagen representativa del volumen en 3D del pan óptimo	88
Figura 34: Imágenes representativas de la estructura alveolar del pan óptimo sin gluten.....	88
Figura 35: Imágenes representativas del pan óptimo sin gluten	88

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Diseño gráfico en tres dimensiones de las propiedades reológicas cuyos componentes son almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua	111
ANEXO 2: Diseño gráfico en tres dimensiones de las propiedades de textura de los batidos de pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua	114
ANEXO 3: Diseño gráfico en tres dimensiones de las variables respuesta del pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua	116
ANEXO 4: Diseño gráfico en tres dimensiones de las propiedades de textura del pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua.....	118
ANEXO 5: Diseño gráfico en tres dimensiones de la deseabilidad con respecto a las variables respuesta del pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua	120
ANEXO 6: Formulaciones óptimas de panes libre de gluten obtenidas por el software desing expert de la deseabilidad con respecto a las variables respuesta.....	121
ANEXO 7: Imágenes del proceso de elaboración del pan libre de gluten óptimo a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua	122

RESUMEN

Actualmente el desarrollo de panes sin gluten en el mercado tiene bajo volumen, miga seca, y se endurecen rápidamente, el cual es necesario mejorar las formulaciones tradicionales. Por ello, la investigación tuvo como objetivo elaborar panes sin gluten utilizando harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), harina de arroz (*Oryza sativa*) y almidón de maíz (*Zea mays*), la evaluación de la interacción de las mismas por medio de las variables respuestas, asimismo se diseñaron las formulaciones de los panes sin gluten con la ayuda del Diseño flexible de optimización para acomodar modelos personalizados del software Design Expert. Se analizó las propiedades reológicas como dureza, cohesividad, elasticidad, masticabilidad en las migas de los panes, la firmeza, cohesividad, consistencia e índice de viscosidad en el batido de los panes; las propiedades viscoamilográficas como la viscosidad pico, viscosidad mínima, breakdown, setback, viscosidad final; volumen específico; valores de colorimetría (L^* , a^* , b^*); estructura alveolar, como variables de calidad más aceptados sensorialmente. Se optimizó de acuerdo a las variables respuesta con el mínimo de dureza y densidad alveolar, y máximo de volumen específico y luminosidad. Por último, se desarrolló la caracterización del pan óptimo sin gluten, en el cual se encontró los valores experimentales del pan óptimo en el rango predicho por el diseño de optimización y se prosiguió a realizar el análisis físico-químico, dentro de ello la humedad y la actividad de agua y finalmente la composición proximal.

Palabras claves: Elaboración, optimización, caracterización, pan sin gluten

ABSTRACT

Currently the development of gluten-free breads in the market have low volume, dry crumb, and harden quickly, which is necessary improvements in traditional formulations. Therefore, the research aimed to make gluten-free bread using cañihua flour (*Chenopodium pallidicaule*), rice flour (*Oryza sativa*) and corn starch (*Zea mays*), evaluating their interaction through the variables responses, gluten-free breads were also formulated with the Desing Expert software. Rheological properties such as texture, cohesiveness, elasticity, chewiness in bread crumbs, firmness, cohesiveness, consistency and viscosity index in bread dough were analyzed; viscoamylographic properties such as peak viscosity, minimum viscosity, breakdown, setback, final viscosity; specific volume; colorimetry parameters (L^* , a^* , b^*); alveolar structure, as more sensorially accepted quality parameters. It was optimized according to the response variables with the minimum of hardness and alveolar density, and maximum of specific volume and luminosity. Finally, the characterization of the optimal gluten-free bread was developed, in which the experimental values of the optimal bread were found in the range predicted by the software and analyzed from a physical-chemical point of view (moisture and water activity) and composition proximal.

Keywords: Preparation, optimization, characterization, gluten-free bread

I. INTRODUCCIÓN

La industria panadera posee una tendencia creciente, es debido a ello que debe adaptarse a la solicitud de los potenciales consumidores, con el objetivo de lograr satisfacer eficazmente las necesidades nutritivas y contribuir a un ritmo de vida saludable (Belén, 2012). En el Perú, la mayoría de los productos de panificación contienen harina de trigo, como uno de los ingredientes principales, lo cual genera que un grupo de personas no se sientan satisfechos, denominados población celiaca, por ello se busca elaborar panes sin gluten con buenas características sensoriales y nutricionales (Zegarra, 2018). Baldera *et al* (2020) estimaron que un valor aproximado de 1,2 por ciento de la población peruana es celiaca. Las personas celiacas, también denominadas a aquellas personas sensibles al gluten, poseen una intolerancia permanente a las proteínas que posee el trigo (Wieser *et al.*, 2012).

Según Masure *et al.* (2016), los ingredientes que se utilizan comúnmente son harinas libres de gluten de cereales y almidones, por ello teniendo en cuenta sus características tecnológicas y nutricionales se tomó en cuenta el uso de harina de cañihua (el cual se destaca por su alto contenido proteico a comparación de otros cereales), harina de arroz (el cual se destaca por alto contenido de almidón y es incoloro, lo cual favorece la elaboración) y almidón de maíz (al tener un alto contenido de almidón favorece la elaboración del pan sin gluten).

Se tuvo como objetivo principal la elaboración pan sin gluten utilizando harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), harina de arroz (*Oryza sativa*) y almidón de maíz (*Zea mays*). Los objetivos específicos fueron determinar las formulaciones de panes libres de gluten, obtener panes libres de gluten para la dieta de personas celiacas. Se analizó las propiedades reológicas, viscoamilográficas y fisicoquímicas. Se optimizó la formulación del pan de molde sin gluten con adecuada calidad panadera (volumen específico, color, dureza y porosidad de la miga). Por último, se caracterizó los panes libres de gluten de acuerdo a su composición proximal y sus propiedades físico-químicas, dentro de las cuales se encuentran la humedad y la actividad de agua.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. PAN

Según Fernández (2012), el pan es el resultado de la cocción de los siguientes ingredientes; harina de trigo, sal y agua potable, el cual es fermentada por *Saccharomyces cerevisiae*. Kent & Evers (2013) afirmaron que el pan es considerado principalmente como gluten esponjado. Muñoz *et al.* (2019) mencionaron que es el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies propias de la fermentación panaria, como *Saccharomyces cerevisiae*. Asimismo, se le puede adicionar grasas y otros mejoradores para favorecer sus características sensoriales (Watts *et al.*, 2016).

Schmidt (2017) conceptualizó al pan como; producto que se obtiene al cocinar una mezcla de harinas, sal y agua, dispersada en un medio propicio para fermentar. Masure *et al.* (2016) mencionaron que durante la fermentación se producen gases debido a la actividad metabólica de las levaduras. Muchos microorganismos pueden fermentar azúcares para producir dióxido de carbono (CO₂), pero el microorganismo más eficiente a tal fin en la masa del pan es *Saccharomyces cerevisiae* (Belén, 2012). Asimismo, Kent & Evers (2013) afirmaron que la elaboración de pan con harina diferente a la harina de trigo, o se realizan con mezclas, en esos casos el pan toma el nombre de la otra harina. Yazynina *et al.* (2008) mencionaron que también es llamado un pan especial y su presentación varía en cuanto a forma o tamaño, asimismo por la adición de 6% o más cantidad de ingredientes enriquecidos.

2.2. TECNOLOGÍA Y VALOR NUTRICIONAL EN EL PAN SIN GLUTEN

2.2.1. ROL DEL GLUTEN EN LA PANIFICACIÓN

Belén (2012) indicó que el gluten es una proteína que representa el 80 % de la proteína del trigo y está conformada por gliadina y glutenina, siendo éste el principal agente de la elasticidad en la masa de harina y hace que el pan obtenga volumen. El gluten es la fracción

proteica de reserva del endosperma de la mayoría de los cereales (Valencia, 2015), no son solubles en agua, y están constituidas por las gluteninas y prolaminas en una proporción de 1:1 (Alvarado, 2010). Capriles *et al.* (2016) mencionaron que las prolaminas forman parte de la fracción soluble en alcohol; y poseen características que contribuyen a sus propiedades inmunogénicas. Asimismo, Sciarini (2012) señaló con respecto al gluten, que posee un alto contenido de prolina, asimismo es resistente en gran parte a la degradación proteolítica en el tracto gastrointestinal, debido a que las enzimas gástricas y pancreáticas no poseen la capacidad proteolítica pos-prolina. El gluten se denomina a menudo la proteína “estructural” para la elaboración del pan (Matos & Rosell, 2015). Las proteínas que constituyen el gluten son; las gluteninas y gliadinas, responsables de la elasticidad y de la fuerza; y del comportamiento viscoso, respectivamente (Mariotti *et al.*, 2013). Esta estructura distintiva es importante para las características de la textura y miga del pan de trigo (Huttner & Arendt, 2010).

Asimismo, Lazaridou *et al.* (2007) mencionaron que las proteínas del gluten juegan un rol primordial en la determinación de las características únicas del trigo durante el horneado, ya que proporcionan la capacidad de absorber agua, elasticidad, cohesividad, viscosidad, extensibilidad, resistencia al estiramiento y la capacidad de retención de gases. En contraste, los batidos sin gluten no son capaces de desarrollar una red proteica similar al gluten debido a las diferencias en las propiedades de la proteína (Matos & Rosell, 2015). El gluten, por ende, se puede considerar como un componente relevante en la textura y estructura del pan, así como de distintos productos de panadería (Mariotti *et al.*, 2013).

Mir *et al.* (2016) señalaron que, la elaboración de productos fermentados libres de gluten implica un gran reto tecnológico para la industria alimentaria, pues muchas veces estos productos no tienen la calidad organoléptica y nutricional deseada, ya que el gluten tiene un papel relevante en la elaboración de los batidos. A menudo, los panes sin gluten disponibles en el mercado son de baja calidad tecnológica, obteniendo un producto con bajo volumen, color pálido, sabor pobre (muy poco apetecible), una textura desmenuzable o más dura (Pongjaruvat *et al.*, 2014), además poseen una corta vida útil, asimismo la detección de partículas en la boca durante su consumo suele generar una sensación de sequedad en la boca y un sabor de insatisfacción, las cuales son algunas de las desventajas del pan sin gluten (Houben *et al.*, 2012).

En relación a las características del batido, debido a la ausencia del gluten esta resulta en una mezcla batida (consistencia semi-líquida) producidas para elaborar tartas y pasteles que a una masa panaria (Mir *et al.*, 2016). Los batidos libres de gluten son menos cohesivas y elásticas que las masas a base de harina de trigo, presentan textura lisa, son más pegajosas y pastosas y difíciles de manipular (Masure *et al.*, 2016).

Con frecuencia las mezclas libres de gluten son denominadas “batter ó batidos” en lugar de masas (Alvarado, 2010). Asimismo, Masure *et al.* (2016); Houben *et al.* (2012); Hager *et al.* (2012) señalaron que los denominados batidos sin gluten no son realmente amasados como en el caso de las masas con harina de trigo, sino que son el producto de una mezcla mecánica. Asimismo, los batidos sin gluten solamente pueden retener gases durante la fermentación si otro gel o ingrediente reemplaza al gluten (Mir *et al.*, 2016). Por esta razón, los productos libres de gluten, principalmente los panes, requieren de sustancias poliméricas para que se obtenga un producto con las características viscoelásticas del gluten (Mariotti *et al.*, 2013).

Karmas & Harris (2017) señalaron que utilización de gomas, hidrocoloides y almidones es la mezcla comúnmente utilizada para mimetizar las propiedades del gluten en la elaboración de productos horneados libres de gluten. Asimismo, Gallagher *et al.* (2004) y Schober (2009) señalaron que estos ingredientes tienen propiedades para actuar como agentes estructurantes y enlazadores de agua, previniendo de esta manera el envejecimiento del pan y evitando la pérdida de burbujas de aire producidas durante la fermentación.

Schmidt (2017) mencionó que el gluten en el trigo es responsable de las propiedades viscosas y elástica de los productos de panificación, provee una red tridimensional conformada por proteínas que esta manera se evita que el gas producido se libere del pan durante la fermentación. Mir *et al.* (2016) manifestaron que producir un pan sin gluten es un proceso muy difícil. Asimismo, Pongjaruvat *et al.* (2014) mencionaron que realizar una mezcla de almidones, hidrocoloides y derivados lácteos favorece el desarrollo de panes sin gluten.

Fernández (2012) mencionó que un pan elaborado a base de harinas diferentes al trigo, generalmente no presentará una buena aceptabilidad; que estas harinas no pueden formar una fase continua. Los panes elaborados sin gluten presentan baja palatabilidad y poca elasticidad, por ello, para mejorar estos inconvenientes es necesario adicionar a los batidos grasas, polímeros, azúcares y aditivos químicos (Schmidt, 2017).

2.2.2. ASPECTOS NUTRICIONALES

El pan constituye la base de la alimentación en la mayoría de los países y es considerado un alimento cuantitativa y cualitativamente importante desde el punto de vista nutricional (Carbajal, 2016). El pan sin gluten posee bajo índice glucémico, por lo cual, cantidades adecuadas de proteína y niveles tolerados de fibra dietética, vitaminas, magnesio, oligoelementos y antioxidantes (Álvarez *et al.*, 2010). Asimismo, Jnawali *et al.* (2016) indicaron que un producto sin gluten no sólo debe ser libre de gluten, sino que debe ser comparable con los productos que contienen gluten en el perfil nutricional. Según el Schober (2009), los productos libres de gluten que reemplacen a los alimentos básicos importantes (por ejemplo, harina, pan, pasta), deben aportar aproximadamente la misma cantidad de vitaminas y minerales que el alimento original que reemplazan. Sin embargo, aquellos productos sin gluten actualmente en el mercado se consideran de baja calidad y pobre valor nutricional (Pellegrini & Agostoni, 2015). Asimismo, estos resultados son predecibles ya que la mayor parte de los productos se basan en harinas refinadas (arroz o maíz) y/o almidones (Álvarez *et al.*, 2009).

2.3. INGREDIENTES DE PANIFICACIÓN

2.3.1. HARINA DE CAÑIHUA

Según Zegarra (2018), la cañihua (*Chenopodium pallidicaulle*) es considerada como el cereal andino típico de los andes, asimismo menciona que es un grano andino que cada está reemplazando a los cereales convencionales como una buena alternativa de alto valor nutricional para las personas con trastornos relacionados al gluten. Al respecto, Casella *et al.* (2018) mencionaron que tiene un elevado contenido de proteínas que pueden ser aprovechadas en las dietas con bajo consumo en carnes, asimismo mencionan que contienen un balance de aminoácidos de primera línea, es particularmente rica en isoleucina, lisina y triptófano; además posee vitamina E y complejo B, sus granos están libres de gluten, ayuda a la disminución del colesterol en la sangre y previene las afecciones cardiovasculares FAO (2009). Asimismo, Zegarra (2018) reportó un contenido considerable de proteínas en la harina, en el cual se encuentra de 14 – 18,8 %, siendo éstos del tipo albúmina y globulina, estas proteínas tienen un favorable balance de aminoácidos esenciales, similares al de la caseína, la proteína de la leche.

Según Rai *et al.* (2018), este cereal presenta un contenido de carbohidratos, grasas, fibra cruda, cenizas y proteínas con valores de 63%, 7,6%, 6,1%, 4,1% y 18,8% respectivamente, en el cual la principal proporción de proteínas son albúmina y globulina con un valor de 41%. Ranilla *et al.* (2009) explicaron que la harina de cañihua posee flavonoides y compuestos fenólicos con actividad anti-hiperglucémica, asimismo se caracteriza por un elevado contenido de péptidos, con alta cantidad de antioxidantes y alto contenido de anti-hipertensivos. Motivo por el cual, Mariotti *et al.* (2013) buscaron nuevas formulaciones con mayor aceptación sensorial, de esta manera proporcionar nuevas oportunidades para utilizar y obtener un producto libre gluten, asimismo que pueda tener componentes que le añadan valor nutricional, que comúnmente no se encuentran en los productos tradicionalmente vendidos. Casella *et al.* (2018) denominaron intolerancias alimentarias a aquellos trastornos relacionados al gluten como la enfermedad celiaca, alergia al trigo y la sensibilidad al gluten no celiaca. En la Tabla 1 se muestran los componentes de la harina de cañihua.

Tabla 1: Información nutricional de la harina de cañihua

Componente (%)	Cantidad
Valor energético (Kcal)	360, 2
Humedad	12,7
Proteína	14,6
Grasa	4,41
Carbohidratos	78,7
Fibra	1,5
Ceniza	1,76

FUENTE: Blanco *et al.* (2022)

2.3.2. HARINA DE ARROZ

La harina de arroz es comúnmente utilizada para la elaboración de productos libres de gluten por sus características como; pequeñas cantidades en *prolaminas*, sabor suave, aspecto incoloro, propiedades hipoalergénicas, bajo contenido de sodio y digestibilidad del almidón elevada (Torbica *et al.*, 2012), no obstante, las proteínas del arroz no son capaces de formar una red que pueda retener los gases generados durante la fermentación y el horneado (Gujral & Rosell, 2004). Por eso a los productos libres de gluten se les agrega hidrocoloides con el fin de que estos imiten las propiedades del gluten (Capriles *et al.*, 2016).

Según Belén (2012), se obtiene de la molienda de arroz carece de gluten, se utiliza principalmente para la elaboración de pastas, panes etc. Para hacer la harina, se quita la cascarilla y se obtiene así el arroz crudo, que se muele para obtener arroz en polvo o harina de arroz (Alvarado, 2010). Torres *et al.* (2015) señalaron que para obtener harina a partir de los granos de arroz, incluye las operaciones de descascarillado, la eliminación del salvado y la separación de los granos partidos o dañados de los granos enteros.

Pedrero & Pangborn (2017) consideraron que es fundamental conocer la forma de obtención de la harina ya que influye en las características del pan, por lo que se obtiene una caída del volumen específico del pan a medida que disminuye el tamaño de partículas, éste hecho podría estar relacionado con la mayor absorción de agua que se requiere para mantener constante la consistencia del batido; por lo tanto, habría una mayor resistencia para que la pieza aumente su volumen durante la fermentación y la cocción (Torres *et al.*, 2015). Es más conveniente el uso de harinas de arroz gruesa para proporcionar mayor volumen a los panes y menor dureza, ya que de esta manera los batidos durante la fermentación tienen más disponibilidad para retener los gases generados (De la Hera *et al.*, 2012). A continuación, se muestra la Tabla 2 con las cantidades de los componentes de la harina de arroz.

Tabla 2: Información nutricional de la harina de arroz

Componentes	Cantidad (%)
Valor energético (Kcal)	366,0
Proteína	9,64
Cenizas	0,23
Lípidos	0,49
Fibra cruda	2,4
Humedad	8,16
Carbohidratos	78,74

FUENTE: Miranda-Villa *et al.* (2018)

2.3.3. ALMIDÓN DE MAÍZ

Es un ingrediente básico en la elaboración de panes y postres para personas celíacas o con sensibilidad al gluten no celíaca (Tapia & Morón, 2014). Puede utilizarse sola o (de manera más común) mezclada con harina de arroz o fécula de patata, tanto para recetas saladas como dulces (Brites *et al.*, 2018). El almidón de maíz absorbe hasta un 45% de agua, en función de

su propio peso, por lo cual se considera que posee un comportamiento de relleno inerte en el interior del batido (Horstmann *et al.*, 2017). Cuando se reducen los niveles de agua, se retrasa la gelatinización del almidón; sin embargo, si los niveles de agua son abundantes, el proceso se llevará a cabo rápidamente, pero puede afectar la gelificación y la retrogradación del almidón después del enfriamiento (Acebers *et al.*, 2016).

Durante la operación de cocción del pan, los gránulos de almidón pasan por un proceso de gelatinizado, en otras palabras, éstos gránulos se van hinchando y solubilizando parcialmente, sin embargo, suelen mantener su identidad granular (Horstmann *et al.*, 2017). El almidón actúa como la matriz de los productos de panificación libres de gluten, reteniendo el dióxido de carbono para permitir la expansión de las células del aire, evitando la coalescencia durante el crecimiento y estabilizando la estructura final después del enfriamiento (Houben *et al.*, 2012). En la Tabla 3 se muestra las cantidades de los componentes del almidón de maíz.

Tabla 3: Información nutricional del almidón de maíz

Componentes	Cantidad (%)
Humedad	9,9
Proteína cruda	1,10
Grasa cruda	0,35
Fibra cruda	0,62
Cenizas	0,06
Carbohidratos	98,73
Amilopectina	71,7
Amilosa	28,3

FUENTE: Miranda-Villa *et al.* (2018)

2.3.4. GOMA XANTANO Y CMC

Los hidrocoloides son polímeros de cadena larga que tiene la propiedad de formar batidos muy viscosos (Tapia & Morón, 2014). Capriles *et al.* (2016) mencionaron que estos batidos pueden ser extraídos de exudados de árboles, extractos de algas, semillas o granos, asimismo, Every *et al.* (2006) añadieron que debido a que los hidrocoloides presentan grupos hidroxilo, se aumentan la propiedad de enlazar moléculas de agua, convirtiéndolos en agentes hidrofílicos.

Las propiedades físicas de las gomas, particularmente la viscosidad y estructura coloidal son las más aprovechadas por la industria de alimentos (Acebers *et al.*, 2016). Casella *et al.* (2018) mencionaron que las gomas suelen ser utilizadas en concentraciones entre 0,25 a 0,50% donde llega a producir viscosidad y formar batidos. De la Hera *et al.* (2012) mencionaron que los hidrocoloides presentan funciones estabilizantes, ello quiere decir que aumenta el tiempo de almacenamiento o reduce la tasa en la cual suceden algunos cambios dentro de un producto alimenticio durante su almacenamiento.

Los hidrocoloides comprenden un número de moléculas altamente hidrofílicas (Jnawali *et al.*, 2016). Químicamente, pueden ser polisacáridos como la goma xantano, los galactomananos, los derivados del almidón, entre otros; o proteínas, como la gelatina (Zegarra, 2018). Rosell *et al.* (2007) mencionaron que son utilizados en diferentes aplicaciones en la industria de alimentos por sus propiedades funcionales. Recientemente, Rojas *et al.* (2019) señalaron que en la industria de panificación, suelen actuar como sustituyentes del gluten, por lo que los hidrocoloides han sido utilizados generalmente para disminuir la velocidad de retrogradación, favorecer la textura del pan, la retención de agua y lograr una mejora de la calidad general del producto durante más tiempo.

Gambús *et al.* (2007) mencionaron que los hidrocoloides interactúan con el agua, reduciendo su difusión. Anton & Artfield (2008) afirmaron que los hidrocoloides poseen menor solubilidad, sin embargo, los polielectrolitos son altamente solubles en agua, aunque la cinética de hidratación depende de muchos factores; la goma xantana y el CMC son solubles en agua fría; mientras que los carragenanos, la goma garrofín y muchos alginatos requieren de agua caliente para su completa hidratación. Kuehl (2001) mencionó que el agua podría ser contenida directamente por la formación de puentes de hidrógeno, o podría ser retenida en los espacios que se forman inter o intramolecularmente.

Anton & Artfield (2008) mencionaron acerca de la goma xantana que es un metabolito secundario generado durante la fermentación aeróbica de carbohidratos simples por parte de *Xanthomonas spp.* Sader (2018) indicó que se trata de un polisacárido formado por una estructura primaria de unidades repetidas, constituidas por dos glucosas, dos manosas y un ácido glucurónico. En soluciones acuosas, la molécula adopta una conformación helicoidal, que le otorga a la molécula una estructura más rígida (Machado-Alencar *et al.*, 2015). Se ha

demostrado que esta característica influye el comportamiento de sus soluciones, incluyendo altas viscosidades y pseudoplasticidad (Millane & Wang, 2017).

El gluten ha logrado ser remplazado por diferentes tipos de aditivos, siendo los siguientes los más comunes (Gambús *et al.*, 2007): Hidrocoloides o gomas; son polisacáridos (naturales o artificiales) que permiten mejorar la retención de líquidos en el batido, tanto en el proceso de horneado como en el de almacenamiento, los más usados son; Goma Garrofín, Goma Guar, Goma Espina Corona, Agar, Psyllium y Carboximetilcelulosa (Molina-Rosell, 2013). También se emplean otros hidrocoloides como goma xantana; por lo general el batido con esta goma no presenta una buena expansión, en comparación con los demás hidrocoloides. Sin embargo, Gambús *et al.* (2007) lograron que este sustituto produzca una mayor expansión al combinarlo con goma guar y pectina.

2.3.5. SAL

Da sabor al pan e interviene también en el color y permite que se compacte más el batido (Fernández, 2012). La sal incrementa la fuerza de las masas, este incremento se debe a interacciones con las proteínas que forman la red de gluten, y hacen la masa algo más tenaz y menos pegajosa, este efecto también puede incrementar el tiempo de amasado necesario, pero no suele notarse mucho; es un potenciador de sabor, este es el efecto más importante y difícil de imitar, no solo aporta sabor salado, sino que predispone nuestras papilas gustativas para que estén atentas y sientan el resto de los sabores con más intensidad. (López *et al.*, 2004).

El agregado de sal a los batidos se encuentra entre valores de 1 - 2,2 % sobre el peso total de la harina (García *et al.*, 2000). Además, Hegarty (2014) indicó que la sal restringe la actividad de las bacterias productoras de ácidos y controla la acción de la levadura regulando el consumo de azúcares y dando una mejor corteza.

2.3.6. AZÚCAR

Alimenta a la levadura, brindar un mejor color, sabor y suavidad al pan, ayuda a mejorar el aroma y el tostado, retiene la humedad y frescura del pan (Acebers *et al.*, 2016). El azúcar es el alimento para la levadura ayudándolo en el metabolismo y permitiendo la acción de las enzimas (Vera, 2010). La levadura ataca a los azúcares fermentables (dextrosa y levulosa) que están presentes en la harina, como la maltosa que es formada en la hidrólisis del almidón,

por eso su importancia en la disposición de azúcares para producir etanol y CO₂ que sirva para elevar la masa (Brites *et al.*, 2018). Además del dulzor tiene la propiedad de retener humedad permitiendo conservar el pan por más tiempo por la propiedad higroscópica que permite absorber humedad (Acebers *et al.*, 2016). García *et al.* (2000) señalaron que favorece una rápida formación de la corteza del pan, ya que se da la caramelización por una parte y a la reacción de Maillard entre los azúcares reductores, quienes son la levulosa, dextrosa y maltosa, y las proteínas de las harinas, ello permite temperaturas de horneado más bajas, mayor cantidad de agua retenida en el producto final y una rápida cocción.

2.3.7. LEVADURA

Son los agentes fermentadores que contribuyen al aumento del volumen de la masa, debido a la formación de gas (Torres *et al.*, 2015). La levadura convierte a la harina cruda en un producto ligero que al hornearse se hace digerible y da el agradable sabor característico del pan (Acebers *et al.*, 2016). Para que actúe necesita del agua, también necesita azúcar y nitrógeno que se encuentra en la harina, de la misma forma las sales minerales que se encuentran en la harina y el agua (García *et al.*, 2000). Vera (2010) señaló que una cantidad que no es suficiente de levadura producirá un pan de molde con muchos agujeros y de bajo volumen, en cambio, el exceso de levadura provoca un hinchamiento exagerado del batido, generando una miga frágil, descolorida y desagradable sabor a levadura.

La levadura que se utiliza en panificación es la *Saccharomyces Cerevisiae* que tolera un rango de pH entre 3 y 10, pero el pH ideal es entre 4,5 a 6,5 (Chaucheyras, 2017). Su temperatura óptima de crecimiento varía entre los 22 y 29 °C y no sobrevive a más de 53 °C (Torres *et al.*, 2015).

Hegarty (2014); Fasano & Catassi (2001) indicaron que las principales funciones de la levadura son las siguientes; la producción de sustancias que modifican las estructuras de las proteínas de la harina (gluten), al reducir la fermentación se pierde la elasticidad de la masa, la plasticidad se adquiere por la rotura de enlaces intermoleculares, Farrell & Kelly (2002) añadieron que la producción de alcoholes, aromas típicos de panificación, éter, la producción de ácidos como ac. acético, butírico y láctico, y la más relevante el aumento del volumen debido a que se genera dióxido de carbono y etanol por la transformación de la glucosa, genera el desarrollo de aromas y sabores.

2.3.8. ALBÚMINA

Montilla (2015) mencionó que hay una mejora en los resultados con almidón de maíz y harina de yuca en las características viscoamilográficas utilizando como aditivo albumina de huevo, asimismo menciona un efecto fortificante en la formulación de pan sin gluten. Asimismo, Gujral & Rosell (2004) y Marco *et al.*, (2007) señalaron que al añadir proteínas (albúmina de huevo, suero de leche) o aislados proteicos (soja y guisantes) se obtiene panes nutricionalmente enriquecidos y con mayor calidad tecnológica. Además, se comprueba que la fortificación con albumina es positiva y contribuye al valor nutricional y a la presentación adecuada del producto que es degustado de manera aceptada (Montilla, 2015).

2.3.9. ACEITE

El aceite distribuye el batido uniformemente impidiendo la fuga de humedad del producto, asimismo, le da ternura en el pan horneado debido a que lubrica la estructura interior cuando es dispersado en películas y en glóbulos (Dubat *et al.*, 2013). Montilla (2015) añadió que retienen la humedad en el pan además que, durante el batido, capta el aire en diminutas burbujas en donde almacena el vapor durante el horneado, favoreciendo el volumen adecuado.

2.3.10. AGUA

El agua es un ingrediente fundamental en la industria de panificación, es el que hace posible la formación del batido, en la fermentación, el sabor y frescura final del pan (Brites *et al.*, 2018). En la formación del batido disuelve todos los ingredientes, permitiendo una total incorporación de ellos (Rojas *et al.*, 2019). Bessonova & Mironova (2015) indicaron que también hidrata los almidones que junto con el gluten dan por resultado una masa plástica y elástica. Vera (2010) señaló que en la elaboración del pan de molde se recomienda la utilización de agua medianamente dura (no más de 120 ppm de dureza).

Anton & Artfield (2008) mencionaron que el líquido que se usa para formar la masa, ayuda a la formación del gluten. Junto con la levadura y la harina provoca los procesos enzimáticos (Brites *et al.*, 2018). Se ha considerado que la dureza (mg de CaCO₃ en un litro) y el pH del agua afectan la calidad de la levadura en la fabricación de productos horneados (Stefan *et al.* 2016). Los minerales contenidos en agua con dureza media (100 - 200 mg/L) interactúan de manera óptima con el gluten (Yuru & Xianlun, 2011).

En general, son nutrientes requeridos para procesos biotecnológicos de los microorganismos (Sinani *et al.* 2014). Se encontraron relaciones directas entre dureza del agua, entre ellas; el tiempo de estabilidad del batido (Stefan *et al.* 2016), volumen específico y suavidad del pan (Yuru & Xianlun 2011). Mientras que se encontró correlación inversa entre la dureza del agua y el grado de ablandamiento del batido formado (Stefan *et al.* 2016). El uso del agua con un pH demasiado alto (por ejemplo 8,0) puede llevar el pH del batido lejos de los valores óptimos (5,0 – 6,0) para actividades enzimáticas (por ejemplo, amilasas) y microbianas (Sinani *et al.* 2014). Por el contrario, el uso de agua ligeramente ácida (pH = 5,0 - 6,0) favorece el crecimiento de la levadura y en consecuencia provoca un aumento del volumen de pan (Yuru & Xianlun, 2011).

Morales (1994) mencionó que el agua controla; la temperatura de la masa, la fermentación para disolver la levadura y que comience a actuar, las propiedades de plasticidad y extensibilidad de la masa debido al gas producido durante la fermentación, asimismo atributos como el sabor, la frescura y la presencia del agua favorece la porosidad y el agradable sabor del pan. Por ello, un batido con poca cantidad de agua generaría panes secos y quebradizos (Brites *et al.*, 2018).

2.4. CELIAQUÍA

Según Anton & Artfield (2008), la enfermedad celíaca (EC) o celiacía, es una enteropatía que se caracteriza por la inflamación crónica del intestino delgado debido a una intolerancia a ciertas proteínas presentes en algunos cereales, principalmente a las prolaminas del trigo (gliadinas), centeno (secalinas), cebada (hordeínas), y especies híbridas como el triticale, y, en algunos casos, de la avena (aveninas). Zegarra (2018) lo definió como una enteropatía autoinmune producida por una intolerancia a ciertos péptidos de gluten de cereales como el trigo, centeno y avena, que desaparece al perder el contacto con el gluten.

Según Miñarro *et al.* (2016), la intolerancia al gluten (proteína) es un trastorno donde la ingestión de esta proteína, produce una inflamación del intestino delgado, provocando mala absorción de nutrientes de interés (hierro, ácido fólico, calcio, vitaminas solubles). Tapia & Morón (2014) mencionaron que es el resultado de factores intrínsecos (genéticos) y extrínsecos (ambientales). Jnawali *et al.* (2016) añadieron que la inflamación permanente de la mucosa intestinal conlleva al aplanamiento de las vellosidades, que deriva en la mala absorción de nutrientes.

Según Anton & Artfield (2008), en niños los síntomas suelen ser diarrea, molestia abdominal, vómitos y complicaciones en el inicio de cereales en las comidas y en adolescentes los síntomas suelen ser muy parecidos diarrea, pérdida de apetito, fatiga, anemia, por ello el tratamiento de elección es la ausencia del gluten en las comidas por toda la vida del paciente, por ello, Zegarra (2018) señaló que el único tratamiento que existe en la actualidad es el apego a una dieta libre de gluten de por vida.

Rosell *et al.* (2007) mencionaron que si no hay una dieta adecuada pueden provocar complicaciones como osteoporosis, generar linfomas intestinales, o se pueden presentar problemas en el crecimiento y fertilidad de los pacientes (Los niños menores de 2 años suelen presentar alteración del equilibrio hidroelectrolítico con distensión abdominal además de acidez y diarreas (Jnawali *et al.*, 2016).

2.5. EVALUACIÓN DE LA REOLOGÍA Y TEXTURA DE LOS BATIDOS LIBRES DE GLUTEN

2.5.1. PERFIL VISCOMILOGRÁFICO (RVA)

De acuerdo a Montoya *et. al* (2012), el viscoamilograma permite determinar la temperatura y el tiempo de inicio de hinchamiento de los gránulos de almidón, a través del incremento de la viscosidad, dando inicio a la primera etapa o etapa de calentamiento, aumentado la viscosidad de la pasta hasta llegar al pico de viscosidad; ello se debe al hinchamiento de los gránulos de almidón al calentarse; asimismo, los puentes de hidrógeno más débiles en el área amorfa se rompen y el gránulo se hincha progresivamente a medida que se hidrata. La siguiente etapa es la de mantenimiento, y comienza cuando está a la temperatura de viscosidad máxima, en la cual se debe mantener alta temperatura y una agitación constante, lo cual genera que la pasta disminuya su viscosidad, debido a la ruptura de los gránulos hinchados por la agitación; hasta alcanzar su viscosidad final (Montoya *et al.*, 2012).

En la Figura 1 se muestra la interacción de la viscosidad en función al tiempo. En la Figura 2 se muestra el amilograma de la harina panera de trigo, se observa que no hay un desarrollo de la viscosidad para las etapas de calentamiento y mantenimiento, debido a que en el pan ya se causaron rompimientos de los gránulos durante el proceso de horneado de este, al mismo tiempo debe ocurrir un fenómeno inhibitorio por parte de las grasas al desarrollo de la viscosidad.

A medida que los gránulos de almidón se calientan, en exceso de agua, resulta en la formación de una pasta viscosa o de un gel (Adebowale & Lawal, 2003). La viscosidad del almidón depende, en gran medida, del grado de gelatinización de los gránulos de almidón y de la extensión de su distribución molecular (El Dash *et al.*, 1983), siendo la viscosidad, un factor importante a considerar para el desarrollo de productos alimenticios (Adebowale & Lawal, 2003).

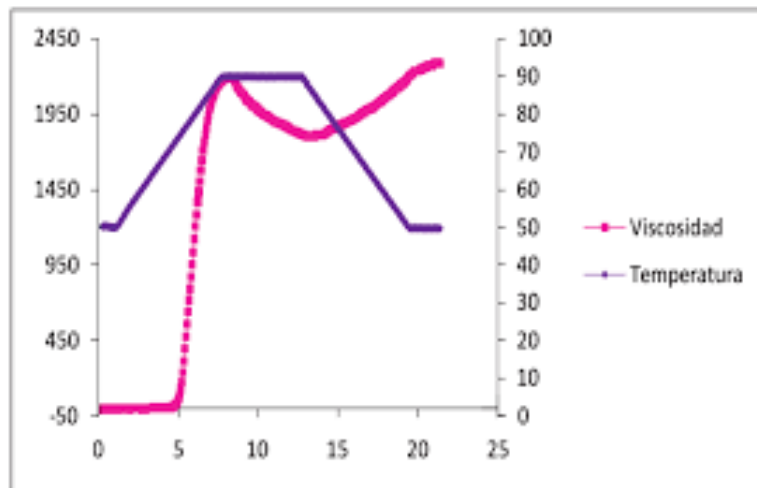


Figura 1: Etapas de calentamiento y enfriamiento

FUENTE: Adebowale & Lawal (2003)

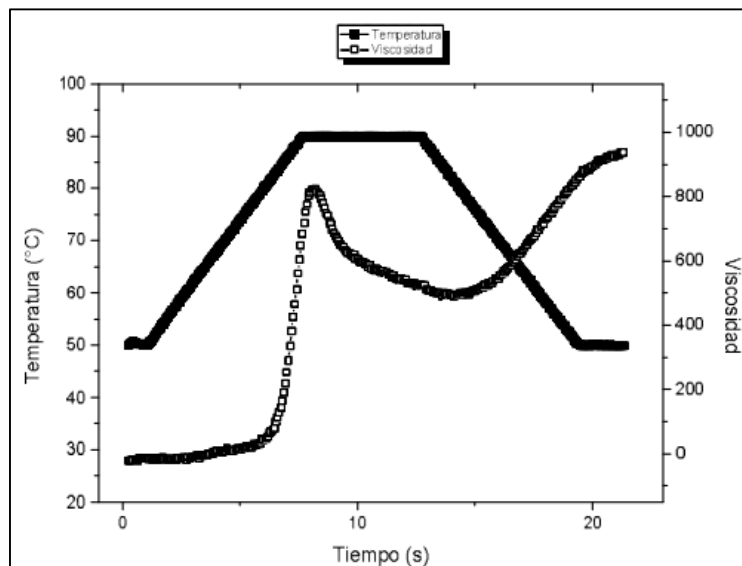


Figura 2: Amilograma de la Harina de Trigo

FUENTE: Adebowale & Lawal (2003)

2.5.2. TEXTURA EN BATIDOS Y PAN

Uno de los instrumentos que ha sido usado y que se ha asociado estrechamente a evaluaciones sensoriales de textura en pan es la máquina de prueba universal Instron, con la cual es posible determinar parámetros como firmeza, cohesividad, elasticidad y comestibilidad; siendo la firmeza uno de los más comúnmente medidos (Zegarra, 2018).

De acuerdo a Cajas (2018), el ensayo comprende de dos compresiones sucesivas, que simulan el proceso de masticación, con un tiempo de espera de 10 segundos entre compresión. La miga de pan cortada fue colocada en el centro de la placa de medición y fue comprimida hasta un 50 % de su espesor original, en cada uno de los ciclos, utilizando una probeta cilíndrica (35 mm de diámetro) a una velocidad de 1 mm/s (Cajas, 2018).

El resultado del ensayo de TPA se proporcionó en una curva tiempo–fuerza. En la Figura 3 se muestra un perfil de textura típico, en el cual se señalan las variables usadas para la estimación de los parámetros texturales estudiados.

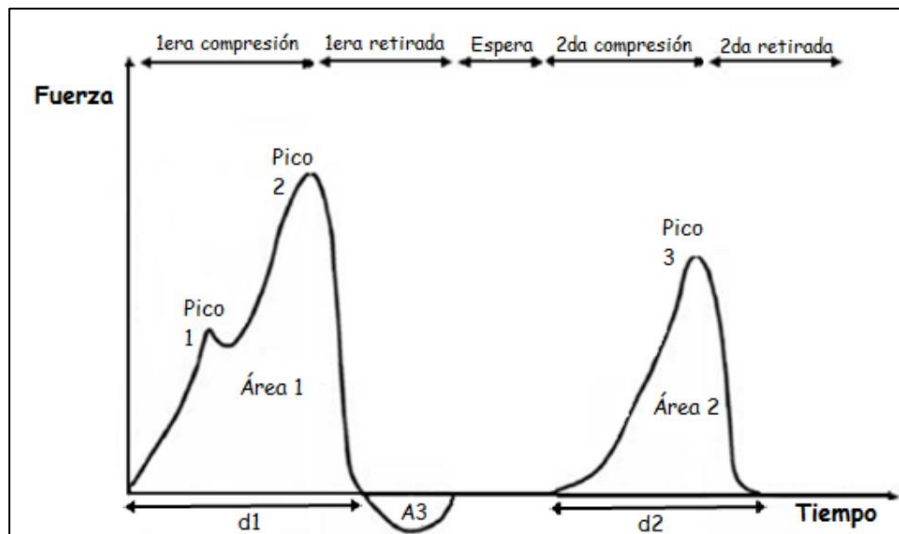


Figura 3: Perfil de textura obtenido con el texturómetro Instron

FUENTE: Cajas (2018)

Bourne (1978) señaló los parámetros característicos de la siguiente manera:

- **Fracturabilidad**, es la fuerza necesaria para la primera rotura (pico 1).
- **Dureza o también llamada firmeza**, corresponde al valor de la fuerza máxima obtenida durante el primer ciclo de compresión (pico 2). La fuerza máxima que se

observa durante la segunda compresión (pico 3) está asociada a la dureza de la segunda compresión.

- **Adhesividad**, corresponde al área de la curva situada bajo el eje de la abscisa (fuerza negativa), es el trabajo necesario para despegar el producto de la placa de compresión (A3).
- **Cohesividad**, corresponde a la fuerza en los enlaces internos del producto, el cual se obtiene como el cociente entre el área del segundo pico y el área del primer pico ($A2/A1$).
- **Elasticidad**, altura que el material recupera durante el tiempo que transcurre entre el final de la primera compresión y el comienzo de la segunda, o también la define como $d2/d1$.
- **Gomosidad**, la define como el producto de la dureza con la cohesividad.
- **Masticabilidad**, es el producto de la gomosidad con la elasticidad.

2.6. MÉTODO PARA OPTIMIZAR CON DISEÑO DE MEZCLAS

Varios estudios se han centrado en el uso de mezclas de almidón y harina sin gluten para la elaboración de panes aptos para celíacos. Estas mezclas pueden lograr mejores resultados que el almidón o harina sola, teniendo esto en cuenta, Sánchez *et al.* (2002) utilizaron el método de optimización superficie respuesta (RSM) para optimizar una formulación de pan a partir de almidón de maíz, harina de arroz y almidón de yuca, con y sin adición de soja. López *et al.* (2004) estudiaron el uso de la harina de arroz complementado con almidón de yuca y maíz en la elaboración de panes sin gluten. Sciarini *et al.* (2010) produjeron panes con mezclas de almidón de maíz con harina de arroz y soya. Según Gutiérrez (2012), en los experimentos con diseño de mezclas, los niveles en los factores de los componentes no son independientes.

Los objetivos de un experimento en el diseño de mezclas es determinar las interacciones de los ingredientes que componen la mezcla, asimismo los componentes que influyen más sobre las variables respuestas, lograr la modelación de dichas respuestas en función de las proporciones de los componentes de la mezcla, y utilizarlos para determinar en qué proporción se debe utilizar en cada uno de los componentes, de esta manera obtener una fórmula óptima que posee las propiedades deseadas de acuerdo a las variables respuesta que se toma en cuenta (Capriles *et al.*, 2016). Sader (2018) añadió que al proponer un producto

a base de mezclas se decidirá, respecto a lo que se sabe del problema y del objetivo que se quiera lograr, las mezclas que se evaluarán con el objetivo de analizar los resultados y de esta manera se logren responder las preguntas planteadas. Vaquero *et al.* (2015) añadieron que no se ejecuta en la investigación con el objetivo de generar formulaciones al azar propuestas por el experimentador y llevarla a cabo con prueba y error, sino que enfatiza la aplicación de una metodología para planear y analizar con la finalidad de obtener generar conocimiento y posibles soluciones para la mejora.

En un problema experimental con diseño de mezclas se tomarán en cuenta componentes en la cual cada formulación en el producto involucra una combinación particular o mezcla de dichos componentes de medición (Zegarra, 2018). Según Montgomery (2002) mencionó los componentes variables de una mezcla deben sumar el cien por ciento de la mezcla, la cual pueden ser dos o más factores. Por tal motivo, Kuehl (2001) indicó que los niveles de un factor no actúan de forma independiente unos de otros.

Es importante identificar la mezcla óptima, y una región alrededor de ésta, que maximice la calidad de los productos (López *et al.*, 2002). Debido a que las proporciones deben resultar en total una cantidad fija, generalmente un 100 %, asimismo los factores no variarán independientemente (StatPoint, 2006). En un experimento con mezclas, las proporciones x_i de cada uno de los q componentes deben satisfacer las siguientes restricciones:

$$x_i \geq 0 \ (i = 1, 2, \dots, q), \quad \sum_{i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$$

Estas restricciones describen la geometría de la región experimental, como un simplex de dimensión $q-1$. Por ejemplo, en el caso de $q = 3$ componentes, el espacio simplex tomará forma de un triángulo equilátero, cuyo objetivo es encontrar un modelo que permita proyectar el valor de la variable dependiente (Y), en función de sus componentes; ello se puede realizar ajustando los modelos de experimentos de mezclas propuestos por Scheffé (1958).

Modelo lineal

$$Y = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i$$

Modelo cuadrático

$$Y = \sum_{i=1}^q \beta_j x_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j$$

Modelo cúbico

$$Y = \sum_{i=1}^q \beta_j x_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j < k} \beta_{ijk} x_i x_j x_k$$

Donde; β_i representa el efecto del i -ésimo componente puro, β_{ij} representa la interacción entre los componentes i y j , y β_{ijk} la interacción triple entre los componentes i , j y k . López *et al.* (2002) mencionaron que los diseños experimentales pueden ser clasificados de tres tipos; látice simplex, centroide simplex y axiales.

En la investigación se aplicó el Diseño flexible de optimización. Loubes (2015), en la Figura 4 se representa los puntos del diseño centroide simplex para tres ingredientes, cuyas proporciones son indicadas por x_1 , x_2 y x_3 .

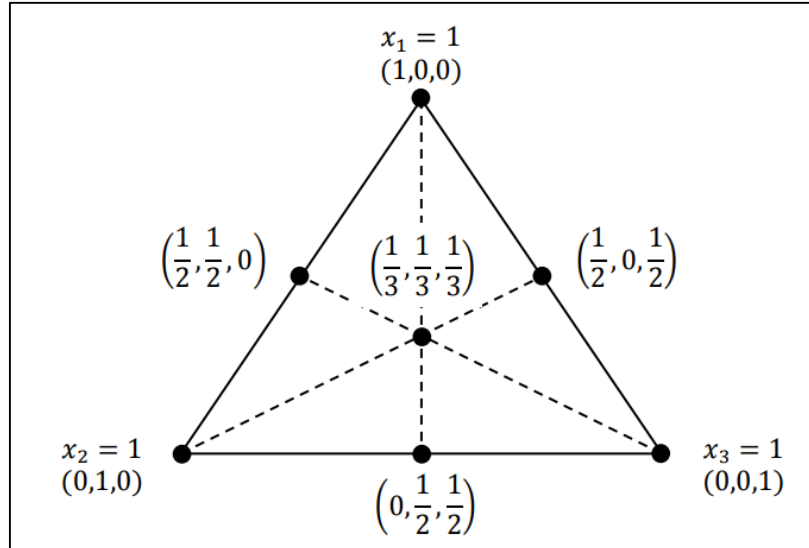


Figura 4: Diseño centroide simplex para experimento de mezclas con tres componentes

FUENTE: Loubes (2015)

Como se puede observar el diseño de mezclas adoptado se limita a tres componentes (los cuales son sustitutos del gluten), asimismo, se fija la suma de los demás ingredientes secos (sin el agua), para elaborar la pasta (Kuehl, 2001). Loubes (2015) recomendó elaborar dicho diseño de mezclas sobre los tres sustitutos del gluten y no incluir el agua.

III. METODOLOGÍA

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se realizó en las instalaciones de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en el Laboratorio de Investigación y en el Centro de Investigación e Innovación de Granos Andinos. El periodo de ejecución de los experimentos tuvo duración de 1 año.

3.2. MATERIAS PRIMAS E INSUMOS

3.2.1. MATERIA PRIMA

- Harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) Campo Grande[®].
- Harina de arroz (*Oryza sativa*) La Casa de Marimiel[®].
- Almidón de maíz (*Zea mays*) La Casa de Marimiel[®].

3.2.2. INSUMOS

- Goma Xantano, Frutarón[®].
- Albúmina, Super Alimentos del Perú[®].
- CMC, Insumos & Soluciones[®].
- Azúcar blanca, Dulfina[®].
- Aceite vegetal, Primor[®].
- Levadura seca instantánea, Lesaffre[®].
- Sal yodada, Emsal[®].
- Agua, La Molina[®].

3.3. MATERIALES DE PROCESO Y EQUIPOS

3.3.1. MATERIALES

- Moldes de pan.
- Cartulina negra.
- Vaso de precipitado.

- Probeta 500 ml.
- Placas Petri.

3.3.2. EQUIPOS

- Balanza Analítica (Explorer OHAUS[®] Corporation. USA).
- Balanza para determinar humedad (METTLER TOLEDO[®], MJ-33. USA).
- Batidora industrial (FINEZZA, FZ-106RA. Perú).
- Cámara climática (MEMMERT[®], CLIMACELL EVO. Alemania).
- Horno industrial a convección rotativo (NOVA[®], Max 1000. Perú).
- Higrómetro (HANNA[®] - modelo HI 9565. USA).
- Estufa de aire caliente (MEMMERT[®], SF450. Germany).
- Potenciómetro (HI 98127, pHep[®] 4, HANNA Instruments. USA).
- Medidor de volumen (Perten Instrument[®], BVM -6610. Suecia).
- Texturómetro (INSTRON[®] Modelo 3365. USA).
- Medidor de actividad de agua (AQUALAB[®], model 3TE).
- Analizador Rápido de Viscosidad (PERTEN[®], RVA4500, Suecia).
- Colorímetro (MINOLTA CAMERA CO[®], CR-400, Japón).
- Colorímetro (MINOLTA CAMERA CO[®], CM-5, Japón).

3.4. METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE EVALUACIÓN

3.4.1 VOLUMEN ESPECÍFICO

Se evaluó con el equipo Medidor de Volumen BVM-6610 (*Perten Instrument*) el cual posee un escáner topográfico con el cual se obtienen resultados con alta precisión del volumen específico en el pan sin gluten (Pongjaruvat *et al.*, 2014).

3.4.2. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y ACTIVIDAD DE AGUA (a_w)

Se realizó con la metodología 44-19 AACC Internacional (2000), el cual la muestra (2 g \pm 0,001 g) se colocó en el equipo medidor de humedad a 105°C hasta que el equipo indique que la operación finalizó cuando la muestra queda seca. Con respecto a la determinación de la actividad de agua (a_w) en la miga del pan sin gluten se utilizó el equipo AquaLab, la muestra se analizó a 20°C hasta que el equipo indique que la operación finalizó (Pongjaruvat *et al.*, 2014), el análisis se realizó la medición de cuatro tajadas de la parte central de cada muestra de pan (Machado-Alencar *et al.*, 2015).

3.4.3. DETERMINACIÓN DE LA COLORIMETRÍA

Las variables respuesta de colorimetría sobre la corteza en la parte superficial central y la miga en rodajas centrales de los panes formulados se evaluaron con el colorímetro CR-400 (Minolta Camera Co., Osaka, Japón) y el color de las harinas y sus mezclas se determinó utilizando el colorímetro CM-5 (Minolta Camera Co., Osaka, Japón). La escala utilizada para analizar el color fue CIE $L^*a^*b^*$. Se reportaron los valores promedios de L^* , a^* y b^* para cada una de las muestras, el procedimiento para medir color en los alimentos con el colorímetro, consistió en colocar el equipo en contacto directo sobre la muestra, definida el área de interés y se procedió a accionar el botón de medición (Zegarra, 2018). De acuerdo a lo señalado por Calvo & Duran (2002) en la Tabla 4, en el cual muestra la coloración de los CROMAS y Cajas (2018). En la Figura 5 se muestra el diagrama de espaciado de color CIELAB.

Tabla 4: Color de acuerdo a los CROMAS

CROMAS	Positivo	Negativo
L^*	Blanco	Negro
a^*	Rojo	Verde
b^*	Amarillo	Azul

FUENTE: Calvo & Duran (2002)

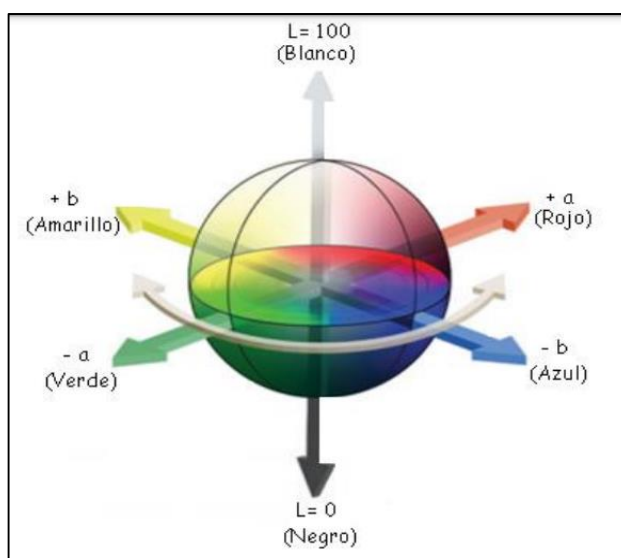


Figura 5: Diagrama del espacio de color CIELAB

FUENTE: Cajas (2018)

Adicionalmente las coordenadas cilíndricas utilizadas son: el croma o saturación (C^*) y el tono o ángulo de tono (h^*), definidas por las siguientes ecuaciones: $L^*(100$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$h^* = \arctan (b^*/a^*)$$

El ángulo de tono es el ángulo de los puntos calculados a partir de las coordenadas a^* y b^* del espacio de color CIELAB. El croma es el componente cuantitativo del color, el cual refleja la pureza del color en el sistema CIELAB. A su vez, las coordenadas triestímulo (X, Y, Z) y cromáticas (x, y) fueron obtenidas sobre la base de los valores L^* , a^* y b^* ; utilizándose el programa CIE color calculator (Lindbloom, 2012).

3.4.4. ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA (TPA) EN LA MIGA

En este análisis se realizó luego de dos horas del horneado, dichas muestras fueron expuestas a dos compresiones sucesivas con un período de reposo entre ambas (Pongjaruvat *et al.*, 2014). Para dicho análisis se utilizó el INSTRON, en el cual los moldes de pan fueron divididos en trozos cilíndricos con ayuda de un accesorio (2.5 cm de diámetro y 2.5 cm de altura) en la parte central de los panes. Las compresiones sucesivas fueron con una penetración de 50% de su altura original, con una velocidad de 60 mm/min, se utilizó un pre-carga de 10 gf. La evaluación se realizó en las rebanadas de las partes centrales de cuatro panes. Los resultados se reportan en valores de dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad, y gomosidad (De la Cruz, 2009).

3.4.5. ANÁLISIS TEXTURALES DE LOS BATIDOS

Para determinar las propiedades texturales de los tratamientos, se precedió a la elaboración de batidos, todas a las mismas condiciones con las cantidades de harinas respectivas para cada formulación. Los batidos formados se enfriaron a temperatura ambiente y luego se almacenaron a 4 °C por 1 hora, luego se procedió a analizarlas. Las propiedades texturales de los batidos fueron determinados utilizando el accesorio de Back Extrusion del texturómetro universal INSTRON (Modelo 3365, Canton MA, USA), de acuerdo a lo descrito por Angioloni & Collar (2009). Donde una porción de batido se depositó en el cilindro de Back Extrusion (Diámetro 50 mm, altura 70 mm) y se penetró hasta un 30% con un plunger (Diámetro 42 mm), una precarga de 10 gf y a la velocidad de 1 mm/s; finalmente el plunger regresó a su posición original a la misma velocidad. El análisis se realizó 4 veces para cada formulación.

3.4.6. DENSIDAD ALVEOLAR

Serpil & Server (2006) evaluaron la densidad alveolar de la miga con el método óptico. El cual consiste en un análisis microscópico en una sección porosa del pan sin gluten con apoyo del software Image J para los análisis de las imágenes (Niewinski, 2008). En primer lugar, se realizó el escaneo de las tajadas de pan, en cada formulación se reportaron 8 imágenes escaneadas; dos panes, las dos tajadas y los dos lados de la miga; luego se utilizó el software Image J para obtener el corte de una parte de la tajada de pan con dimensiones 2.5 cm x 2.5 cm, luego se procedió al cálculo del área celular media (MCA, mm²) y densidad celular media (CDE, células/mm²) (Serpil & Server, 2006).

3.4.7. PÉRDIDA DE HORNEADO

Se reportaron los valores promedio obtenidos con la siguiente fórmula (Bhatt & Gupta, 2015):

Pérdida por cocción

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

3.4.8. COMPOSICIÓN PROXIMAL

Este análisis se realizó al pan óptimo sin gluten, comprende la determinación de los porcentajes de humedad, grasa, fibra, cenizas, carbohidratos y proteína, se realizó siguiendo la metodología según la AACC (2000).

3.4.9. PROPIEDADES DE PASTA EN MEZCLA DE HARINAS

Las propiedades de pasta de las harinas de los cultivos andinos y sus mezclas fueron determinadas según el método AACC-76-21 (AACC, 2010). Se determinó las humedades de las formulaciones, dato que se colocó en el programa y realizó las correcciones de pesos de la muestra y el agua. Se pesó alrededor de 3,5 g de harina y se dispersó en 25 mL de agua (Relación 1:7), de acuerdo a cada formulación, los análisis se realizaron por duplicado. Se utilizó un analizador rápido de viscosidad (RVA) (Perten RVA 4500, Suecia) y se seleccionó el programa de 23 minutos en total; el cual consistió en un ciclo de calentamiento hasta 95 °C y enfriamiento a 50 °C de la muestra. Loubes (2015), mediante la gráfica obtenida se determinaron los valores de:

- **Pico de viscosidad (PV):** máxima viscosidad registrada en el ciclo de calentamiento.
- **Tiempo de pico de viscosidad (tP):** tiempo en el que se alcanza el pico de viscosidad.
- **Temperatura de pasta (TP):** temperatura a la que se inicia el incremento de la viscosidad.
- **Viscosidad media (VM):** viscosidad mínima antes que comience la recuperación.
- **Viscosidad de rompimiento (BD, breakdown):** diferencia entre el pico de viscosidad y la viscosidad media (PV – VM).
- **Viscosidad final (VF):** viscosidad registrada al final del proceso.
- **Viscosidad de recuperación (SB, setback):** diferencia entre la viscosidad final y la viscosidad media (VF – VM).

En la Figura 6 se muestra una representación gráfica de lo mencionado de acuerdo a Loubes (2015).

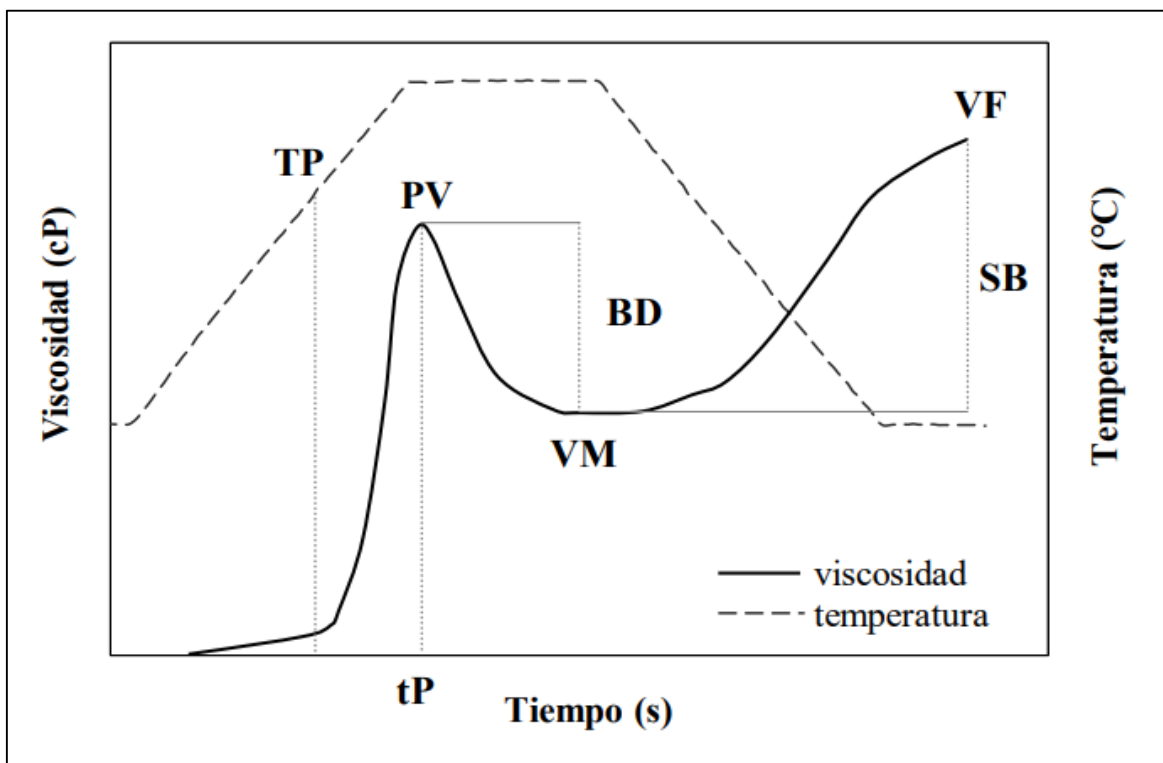


Figura 6: Representación esquemática del viscoamilograma del almidón, obtenido en un analizador rápido de viscosidad (RVA) y parámetros característicos (TP: Temperatura de pasta, tP: tiempo pico de viscosidad, PV: pico de viscosidad, VM: viscosidad media, VF: viscosidad final, BD: viscosidad de rompimiento, SB: viscosidad de recuperación)

FUENTE: Loubes (2015)

3.4.10. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La formulación utilizada para la elaboración de pan es libre de gluten a base de harina de cañihua (HC), harina de arroz (HA) y almidón de maíz (AM) se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5: Ingredientes en la elaboración de pan sin gluten

Ingredientes	Porcentaje
Almidón de maíz	30-40%
Harina de arroz	20-30 %
Harina de cañihua	30-50 %
Agua	110 % (HC + HA + AM)
Goma xantano	1 % (HC +HA+ AM)
CMC	3 % (HC + HA + AM)
Albúmina	8 % (HC + HA + AM)
Sal	1 % (HC + HA+ AM)
Azúcar	3 % (HC + HA + AM)
Levadura	3 % (HC + HA+ AM)
Aceite	6 % (HC + HA + AM)

Se aplicó lo descrito por Cornell (2002), en el cual se basa en restricciones mínimas y máximas con la metodología de diseño de mezclas, se tuvo como ingredientes principales a la harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz (Tabla 6). Álvarez *et al.* (2009) realizaron pruebas en el cual aquellos componentes que no son los principales se utilizaron en cantidades fijas, cuyos valores también fueron en base a la suma de las harinas.

En las pruebas se utilizó CMC 3% y goma xantana 1%, Dong & Hosney (1995) afirmaron una mejor interacción entre el CMC y la goma xantana, ya que se obtiene panes con mayor volumen específico, posiblemente, el aumento de la viscosidad y consistencia de la masa sin gluten tras la adición de xantana ayudó a mantener las burbujas de gas y a prevenir su coalescencia (Lazaridou *et al.*, 2007; Schober, 2009). De acuerdo a Martínez *et al.* (2015) con 3% de CMC se obtiene panes sin gluten con valores altos de firmeza, cohesividad, elasticidad y dureza. Asimismo, Aurica (2015) obtuvo panes con adecuadas características tecnológicas con goma xantana al 1%, mejores valores de dureza y volumen.

Se aplicó también lo descrito por Sciarini (2012), dicha metodología se basa en el uso de diferentes ingredientes para generar un valor agregado al producto, el cual es aprovechado también en muchas investigaciones por el valor agregado que se le genera al producto sin gluten (Moore *et al.*, 2016; Schober *et al.*, 2005; Renzetti *et al.*, 2017). Dicha metodología consiste en pesar los ingredientes principales y secundarios, activar la levadura con parámetros establecidos en cuanto a tiempo y cantidades, mezclar los ingredientes con diferentes velocidades controladas y en el orden establecido para las pruebas, dividir el batido en los moldes con pesos iguales, fermentar y hornear con intervalos de tiempo establecidos, todo ellos con la finalidad de que solo varíen las cantidades de los componentes principales (Sciarini, 2012). En la Figura 7 se muestran los parámetros de tiempo y temperatura para la elaboración de pan sin gluten a base de harina de cañihua, harina de arroz y almidón de maíz.

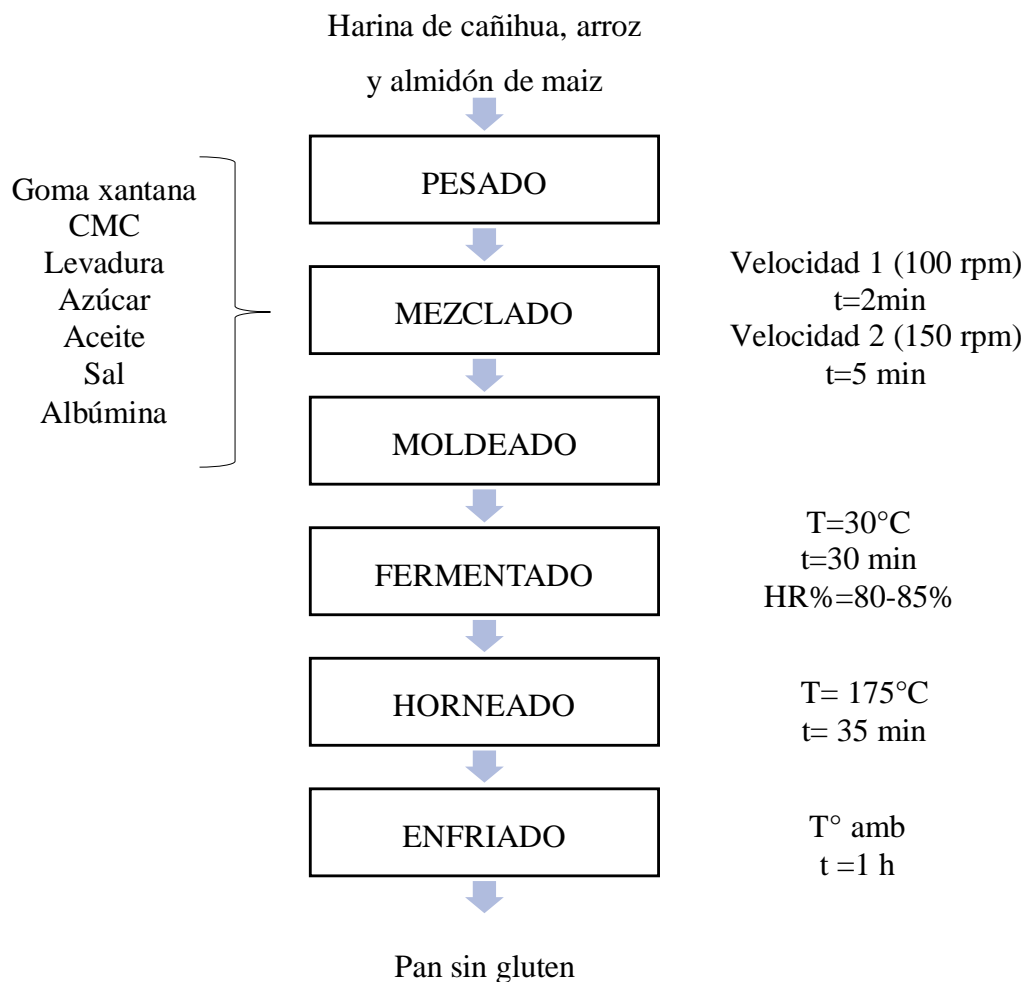


Figura 7: Esquema de operaciones para obtener pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua

A. PESADO

Se pesó en una balanza de precisión la harina de cañihua, harina de arroz, almidón de maíz y el agua. Los demás componentes como sal, azúcar, goma xantana, CMC, albúmina, levadura y aceite se pesaron en una balanza analítica.

B. MEZCLADO

Primeramente, se disolvió el azúcar en el agua, luego se le agregó la levadura para activarla. Por otro lado, se mezcló en el tazón de la batidora los insumos secos, es decir, las harinas y el almidón, sal, goma xantana, CMC, albúmina y al final se le añadió el aceite. Posteriormente, se añadió la mezcla de levadura con agua azucarada, se batió la mezcla con velocidades de 1 y 2 por intervalos de tiempo de 2 y 5 minutos respectivamente, para obtener un batido homogéneo en todas las pruebas realizadas.

C. MOLDEADO

Se procedió a dividir el batido homogéneo en seis moldes con pesos iguales (aproximadamente 150 gramos de batido en cada molde).

D. FERMENTADO

En esta operación se pusieron en la cámara de fermentación los batidos contenidos en los moldes, el cual fue regulado previamente a 30°C. Luego se dejó que los batidos se fermenten durante 30 minutos a una humedad relativa de 80-85 %.

E. HORNEADO

Se colocaron los batidos fermentados en el horno precalentado a 175°C para que se realice la cocción, esta operación duró 35 minutos, hasta que la cocción haya finalizado.

F. ENFRIADO

Se procedió a enfriar los moldes con los panes con una ventiladora a temperatura ambiente por un intervalo de una hora, para luego se procedió a retirar los panes de los moldes y a realizar las determinaciones volumétricas y de estructura.

3.5. FASES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

La investigación se realizó en cuatro fases, en la primera fase se realizó la determinación las formulaciones de panes sin de gluten, a base de harina de cañihua, harina de arroz y almidón de maíz. Con la finalidad de evaluar el efecto simultáneo de la mezcla de los 3 componentes sobre el volumen específico, dureza, luminosidad y densidad alveolar en los panes libres de gluten, con los límites mínimos y máximos en las cantidades de los componentes principales que se observan en la Tabla 6, dichas restricciones sobre los componentes se tomaron en cuenta según lo descrito por Sciarini (2012).

Tabla 6: Restricción mínima y máxima para la elaboración de pan sin gluten

Materias Primas	Mínimo	Máximo
Almidón de maíz	30 %	40 %
Harina de arroz	20 %	30 %
Harina de cañihua	30 %	50 %

En la Tabla 7 se muestra las formulaciones obtenidas con el Diseño de mezclas tomando en cuenta los límites para los tres componentes como señala en la Tabla 6.

Tabla 7: Formulaciones del pan sin gluten con Diseño de Mezclas

Formulación	Almidón de maíz	Harina de Arroz	Harina de cañihua
1	37.11	28.74	34.15
2	30	20	50
3	40	30	30
4	40	20	40
5	40	24.18	35.82
6	35.49	24.28	40.23
7	30	30	40
8	30	24	46
9	32.94	30	37.06
10	35.65	20	44.35

En la segunda fase se realizó la evaluación fisicoquímica y reológica de las mezclas de las harinas y propiedades de textura en los panes libres de gluten con altos valores nutricionales para la dieta de personas celiacas. La tercera fase fue la optimización de las variables respuesta del pan de molde sin gluten, en dichas variables se buscó la maximización del volumen específico y luminosidad de la miga, y la minimización de la densidad alveolar y la dureza.

Las variables respuestas (P_n) dan como resultado una función de deseabilidad que varía de 0 a 1, por lo que indica que valores de deseabilidad igual a 0 y 1, indican niveles de factor que llevaron un valor de variable respuesta mínimo y máximo respectivamente (Encina *et al.*, 2018), la función de deseabilidad se describe con la siguiente ecuación:

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

Dónde: D hace referencia a la media geométrica de las funciones de deseabilidad individuales que pertenece a las variables; d_1, d_2, d_n , donde "n" corresponde a la cantidad numérica de variables respuesta con la finalidad de obtener un valor óptimo.

El algoritmo de deseabilidad de acuerdo a la ecuación descrita, tiene el objetivo de buscar cuales son los valores de las variables dependientes y/o variables repuestas, en el cual los valores óptimos indicarán una deseabilidad de 1 (Encina *et al.*, 2018). Finalmente, en la cuarta fase se validaron los resultados de las variables respuestas y se caracterizó la mejor fórmula obtenida de pan sin gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua, en el cual se realizaron las pruebas fisicoquímicas, la humedad y la actividad de agua, y composición proximal. Las cuatro fases mencionadas se explican brevemente en la Figura 8, en el cual se realizaron dichos análisis en las diez formulaciones de los panes sin gluten.

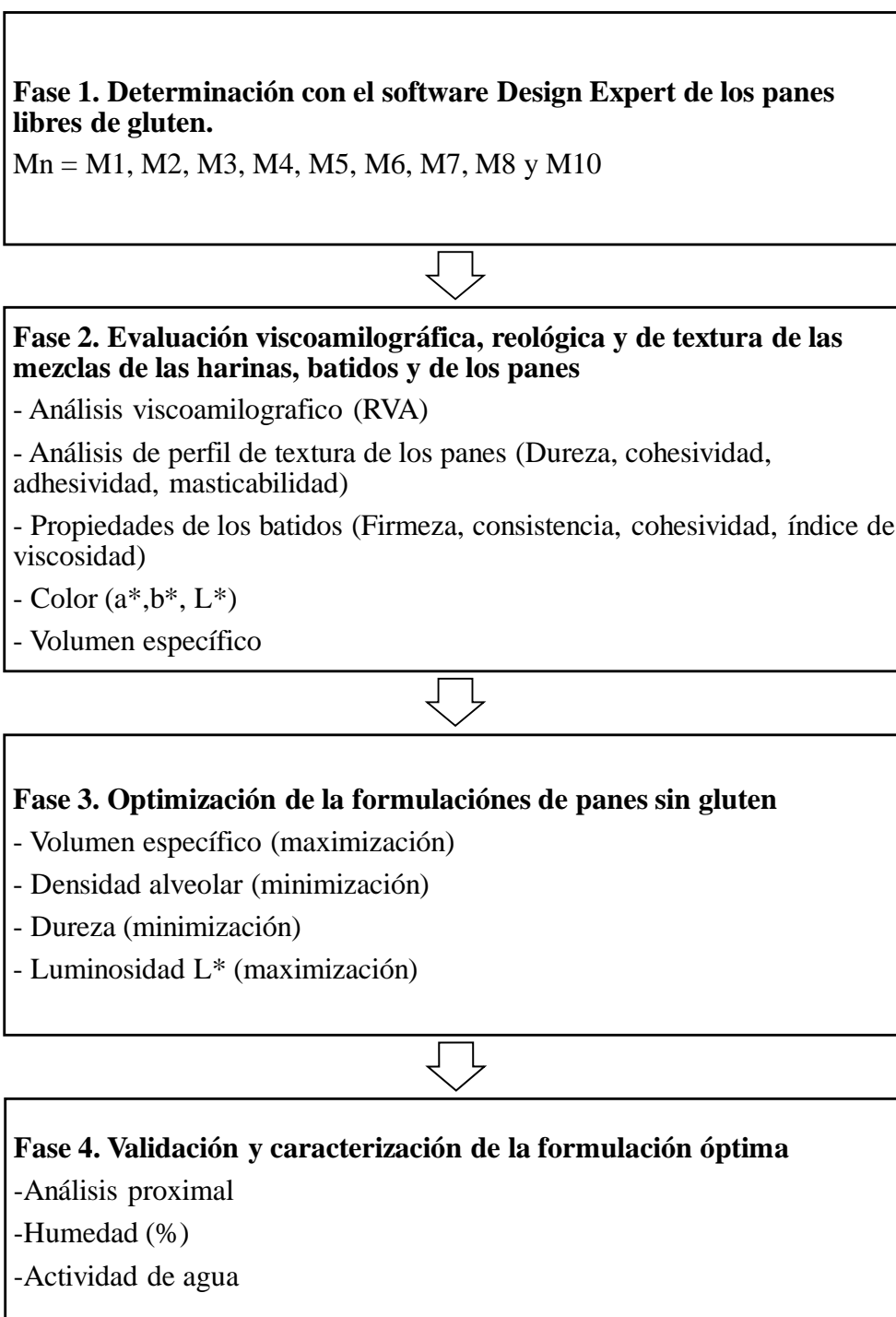


Figura 8: Fases de la investigación para la obtención de pan libre gluten con harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz.

En la Figura 9 se muestra el diseño experimental de la presente investigación, en el cual señala los tratamientos, parámetros y análisis correspondientes.

Operaciones de la elaboración del pan libre de gluten							
	Materias Primas	Formulado	Mezclado	Fermentado	Horneado	Enfriado	Pan sin gluten
Fórmulas	<ul style="list-style-type: none"> ● Harina de cañihua ● Harina de Arroz ● Almidón de maíz 	<ul style="list-style-type: none"> ● HC + HA + AM ● Agua ● Sal ● Azúcar ● Levadura ● Aceite ● Albúmina ● Goma xantana ● CMC 					Formulación Óptima
Parámetros de control		Peso de ingredientes	Tiempo = 7 min	T°=30°C Tiempo= 30 min HR% 80-85%	T°= 175 Tiempo= 35 min	T ambiente Tiempo= 1 h	
Análisis reológicos, de textura y fisicoquímicos			-Firmeza -Consistencia -Cohesión -Índice de viscosidad			-Volumen -Dureza -Color -Densidad alveolar	Composición proximal -Humedad -a _w

Figura 9: Esquema general de la investigación del pan sin gluten

3.7. EVALUACIONES ESTADÍSTICAS

Para la fase 1 se evaluó con el programa Desing Expert, para obtener las 10 formulaciones de acuerdo a los rangos establecidos de las harinas. Luego se evaluaron los resultados obtenidos con el software Statgraphics versión 9.0.6.2 MN. Para reportar los valores obtenidos de las evaluaciones reológicas en la mezcla de las harinas; viscosidad pico, viscosidad de retrogradación, viscosidad mínima, Breakdown, Viscosidad final, evaluaciones con el accesorio back extrusion en los batidos; firmeza, consistencia, cohesividad, índice de viscosidad y en los panes; el análisis de perfil de textura de los panes (dureza, cohesividad, adhesividad, masticabilidad), densidad alveolar, color (L^* , a^* , b^*) y volumen específico.

Los análisis en las harinas (color y viscoamilográfico), batidos (color, firmeza, cohesividad, consistencia e índice de viscosidad) y panes (volumen, color, densidad alveolar, dureza) corresponden a la fase 2, en el cual se realizó el análisis *one way* ANOVA de una vía con un 5% de significancia, luego se realizó la prueba Tukey en el caso de que el resultado del p value sea significativo ($p < 0.05$).

En la tercera fase se realizó las pruebas estadísticas de análisis de varianza (ANOVA) y regresión múltiple, para cada una de las variables respuesta, con un nivel de confianza del 95%. Luego se empleó el programa Design Expert para evaluar las variables respuesta de las formulaciones de panes sin gluten, con la finalidad de determinar los modelos predichos para cada variable respuesta, así como obtener la formula óptima del pan libre de gluten en base a la maximización del volumen y luminosidad, y la minimización de la densidad alveolar y dureza.

En la cuarta fase se comparó los resultados de la parte experimental con los valores teóricos, en cada una de las variables respuestas analizadas. Dichas comparaciones se realizaron con la finalidad de que los resultados obtenidos experimentalmente se encontraran en el 95% de confianza de los valores teóricos, las comparaciones se realizaron con un límite de confianza del 95%.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PROPIEDADES DE LAS HARINAS Y SUS MEZCLAS

4.1.1. PROPIEDADES DEL COLOR DE LAS HARINAS Y SUS MEZCLAS

La Tabla 8 muestra los valores obtenidos de L*, a* y b* para la harina de cañihua, almidón de maíz y harina de arroz, las tres harinas son significativamente diferentes en los tres valores, cuyos valores son positivos para la harina de cañihua (L*, a*, b*); sin embargo, para el almidón de maíz y harina de arroz tienen valores negativos en a*.

Tabla 8: Colorimetría de las materias primas

Materia Prima	L*	a*	b*
Harina de cañihua	53,74 ^a (0,2)	7,27 ^a (0,01)	21,62 ^a (0,17)
Almidón de maíz	98,21 ^b (0,05)	-0,94 ^b (0,01)	3,65 ^b (0,01)
Harina de arroz	94,08 ^c (1,79)	-0,47 ^c (0,01)	8,65 ^c (0,01)

De acuerdo a la Tabla 8, los valores de L*, a* y b* son positivos para todas las formulaciones, asimismo los valores de desviación estándar fueron pequeños. Las mediciones de color de cada harina y la mezcla de ellas influyen en el producto final. De acuerdo a Callejo (2010), el color del pan varía según el tipo de harina que se use y el proceso de oxidación durante el mezclado, este puede ser en tonalidades entre blanco a marrón claro; por otro lado, el color de la corteza depende de los procesos de Maillard y de caramelización. Según Martínez (2016), el almidón de arroz tiene asociadas ciertas ventajas frente a otros almidones, estas características incluyen su aceptación por el consumidor, sabor neutro, gránulos pequeños (2-10 μm), color blanco, lo cual favorece las características en el producto final de las formulaciones.

Según la Tabla 8 los valores de luminosidad para la harina de cañihua indican una tendencia a rojo y amarillo, sin embargo, es menor a los de la harina de arroz y almidón de maíz. Los valores de b* según la Tabla 8 fueron mayores a los del almidón de maíz y la harina de arroz, León & Urbina (2015) obtuvieron valores de L*=61.93, a*=4.11 y b*=18.22, cercanos a lo obtenido en la investigación, dichos valores son afectados según la variedad de cañihua utilizada. Ortolan (2006) afirmó que el color de la harina de cañihua es afectada por distintos factores; entre ellos los más importantes las variables para su extracción, así como por el tamaño de partícula y almacenamiento. En la Tabla 9 se muestra los valores de la medición de colorimetría de las mezclas de harinas de las 10 formulaciones.

Tabla 9: Colorimetría de las mezclas en las formulaciones

Mn	Almidón de maíz (%)	Harina de Arroz (%)	Harina de cañihua (%)	Indicadores de color		
				L*	a*	b*
1	37.11	28.74	34.15	78,57 ^e (0,26)	2,30 ^d (0,04)	10,97 ^d (0,06)
2	30	20	50	75,76 ^b (0,02)	2,75 ^f (0,01)	12,12 ^g (0,01)
3	40	30	30	82,58 ^h (0,02)	1,68 ^a (0,01)	8,96 ^a (0,01)
4	40	20	40	78,89 ^f (0,01)	2,31 ^d (0,01)	10,61 ^c (0,01)
5	40	24.18	35.82	78,89 ^f (0,03)	2,24 ^c (0,01)	10,60 ^c (0,02)
6	35.49	24.28	40.23	74,46 ^a (0,01)	2,97 ^g (0,01)	12,59 ⁱ (0,01)
7	30	30	40	76,00 ^c (0,02)	2,75 ^f (0,01)	12,07 ^f (0,01)
8	30	24	46	74,50 ^a (0,01)	2,98 ^g (0,01)	12,49 ^h (0,01)
9	32.94	30	37.06	80,32 ^g (0,01)	2,01 ^b (0,01)	9,94 ^b (0,01)
10	35.65	20	44.35	76,29 ^d (0,01)	2,68 ^e (0,01)	11,91 ^e (0,01)

L*=0 (negro), L*=100 (blanco), a*= positivo (rojo), a*= negativo (verde), b*=negativo (azul), b*=positivo (amarillo). Los superíndices muestran diferencias significativas (a, b, c, d, e, f, g, h, i) entre los valores obtenidos de L*, a*, b* de las formulaciones.

Para la harina de arroz se obtuvo $L^*=94.08$, $a^*=-0.47$, $b^*= 8.65$, ello indica un alto valor en la luminosidad, una tendencia al verde y baja tendencia al amarillo. Bravo & Ortega (2017) obtuvieron $L^*68.25 \pm 1.36$, $a^*= -0.28 \pm 0.02$ y $b^*= 0.01$, mientras Cantero (2019) obtuvo $L^*=86.22$, $a^*=-0.02$ y $b^*=3.66$, ello indica una buena calidad del arroz utilizado $10.97 \pm$ ya que el valor de la luminosidad es mucho mayor a los mencionados, asimismo los valores de b^* fueron similares lo cual indica una tendencia al verde propio de la harina de arroz.

En la colorimetría del almidón de maíz $L^*=98.21$, fue el máximo valor entre las harinas, sin embargo, $a^*= -0.94$ y $b^*=3.65$ fueron los menores valor entre las harinas. Ello quiere decir que tiene una alta luminosidad (blancura), mayor tendencia al verde y menor tendencia al amarillo. Ante ello, Ortolan (2006) obtuvo $L^*=97.24$, $a^*= -0.89$ y $b^*=3.64$, dichos valores fueron similares a lo obtenido en el análisis realizado. De acuerdo Martínez (2016), los panes de maíz se caracterizan por un color amarillento; sin embargo, el color de los granos de maíz (proveniente del color del pericarpio) varía ampliamente dependiendo de la variedad desde blanco a amarillo incluso rojo y azul.

Según la Tabla 9, en las mezclas realizadas se obtuvo los mayores valores de L^* (luminosidad) en la formulación 9 (32.94%AM, 30%HA, 37.06%HC) con $L^*= 80.32$ y la formulación 3 (40%AM, 30%HA, 30%HC) con $L^*= 82.58$, ambas son significativamente diferentes. Asimismo, ambas formulaciones tienen un alto contenido de almidón de maíz y harina de arroz, lo cual favorece el valor de la luminosidad. El uso de harina de arroz es preferido al uso de harina de maíz por su sabor neutro y color blanco encontrándose más extendido, también favorece las características de textura y apariencia de la miga, así como por el color de la corteza (Martínez, 2016).

Con respecto al valor de a^* los mayores valores se obtuvieron en la formulación 6 (35.49%AM, 24.28 HA, 40.23% HC) con $a^*=2.97$ y la formulación 8 (30%AM, 24%HA, 46%HC) con $a^*=2.98$, sin diferencia significativa. Asimismo, ambas formulaciones tienen un alto contenido de harina de cañihua lo influye a la tendencia al color rojo (a^+). Con respecto al valor de b^* los mayores valores se obtuvieron en la formulación 8 (30%AM, 24%HA, 46%HC) con $b^*=12.49$ y la formulación 6 (35.49%AM, 24.28 HA, 40.23% HC) con $b^*= 12.59$, con diferencias significativas. Asimismo, ambas formulaciones tienen un alto contenido de harina de cañihua, lo cual influye en el alto valor de b^* con tendencia al amarillo.

4.1.2. PERFIL VISCOAMILOGRÁFICO DE LAS HARINAS Y SUS MEZCLAS

La Tabla 10 muestra los valores promedios de las viscosidades de las formulaciones, cuando fueron dispersas en un exceso de agua y sometidas a un ciclo de calentamiento y enfriamiento. En esta tabla se puede apreciar que las propiedades de pasta de las formulaciones fueron afectadas significativamente ($p < 0.05$) por cada una de las harinas. Los valores de viscosidad pico (VP), viscosidad de mínima (VM), breakdown (B), viscosidad final (VF), tuvieron diferencia significativa entre las tres harinas. La viscosidad de retrogradación (VR) y la temperatura pico (TP) no tuvieron diferencia significativa entre la harina de arroz y la harina de cañihua; sin embargo, si son significativamente diferentes con el almidón de maíz, como se muestra en la Tabla 10, 11 y 12.

La harina de arroz tuvo valores inferiores de VP, VM, VF, VR y TP a comparación que la harina de cañihua y el almidón de maíz. La viscosidad pico refleja el grado de hinchamiento o la capacidad de retención de agua de la harina y se relaciona con la textura del almidón cocido (Roudot, 2004). Aunque si bien las proteínas pueden estabilizar la pasta de almidón y aumentar la viscosidad global, también pueden debilitar el hinchamiento de los gránulos durante el calentamiento (Zhou *et al.*, 2003). Martínez (2016) añadió que el almidón de arroz tiene un amplio rango de ratio amilosa: amilopectina, asimismo dependiendo del ratio de amilosa: amilopectina del almidón, se puede encontrar batidos de diferente fuerza y texturas. Dentro de las variedades de arroz común, también se pueden clasificar por su contenido en amilosa en bajo (9-20%), medio (20-25%) y alto (>25%), los almidones de arroz extraídos de arroz común tienden a tener altos picos de viscosidad al cocinarlo y una vez enfriado, así como dar lugar a una pasta de textura pálida y corta (Hui *et al.*, 2006), sin embargo, Roudot (2004) realizó la comparación de la harina de arroz con otras harinas (harina de cañihua, harina de quinua), en el cual obtuvo valores menores en la harina de arroz, al igual que lo obtenido en la presente investigación de acuerdo a la Tabla 10.

Adebowale & Lawal (2003) encontraron la formación de una estructura porosa en batidos de almidón de arroz con alto contenido de amilosa previamente congelados. Los cristales de hielo se extienden dentro del gel y tras la posterior descongelación a una temperatura inferior a 30°C los cristales se derriten y se observa el fenómeno de retrogradación (Deetae *et al.*, 2008).

La VR del almidón del arroz fue el menor que las otras harinas. Champagne (1996) señaló con respecto a la amilosa que dicha velocidad de retrogradación, se restringe por los lípidos, asimismo que el almidón de arroz desgrasado, presenta una menor temperatura de gelatinización y viscosidad del gel que forma, la amilopectina muestra poca interacción con los lípidos. Sin embargo, los lípidos pueden afectar indirectamente el comportamiento de amilopectina con relación al agua, a través de la formación de complejos con la amilosa.

Los valores de la harina de cañihua obtuvieron un valor intermedio en VP, VM, B, VF y VR. Malavet (2009) señaló que el contenido de almidón de la harina de tarwi a comparación de la harina de arroz y almidón de maíz es bajo. Como se mencionó anteriormente el almidón de la cañihua puede debilitar el hinchamiento de los gránulos durante el calentamiento (Zhou *et al.*, 2003). Asimismo, hay otros factores que influyen como el contenido de amilosa y amilopectina y el tamaño de los gránulos. Zhou *et al.* (2003) señalaron que el diámetro de los gránulos de almidón de cañihua fue 0.75-1 μm , valor que es menor a los gránulos de la harina de arroz y almidón de maíz.

El almidón de maíz tuvo los valores más altos de VP, VM, B, VF, VR y PT. Agama *et. al* (2012) señalaron que los resultados de viscosidad podrían estar influenciados por el aumento en el contenido de amilosa, lo cual causa la disminución de la proporción de amilopectina, ocasionando que se requiera menor temperatura y energía para gelatinizar el almidón, lo cual es corroborado con los resultados obtenidos de la viscosidad del almidón de maíz a comparación de la harina de arroz y harina de cañihua. Martínez (2016) añadió con respecto al almidón de maíz nativo que al cocinarlo da lugar a pastas densas con alta viscosidad y apariencia translúcida que cuando se enfrían forman un gel resiliente, de textura corta y apariencia opaca.

El perfil viscoamilográfico de la harina de arroz, harina de cañihua, almidón de maíz y sus mezclas, se proporcinará en valores de Viscosidad Pico (VP), Viscosidad de caída (VM), Breakdown (B), Viscosidad Final (VF), Retrogradación (VR) y la Temperatura Pico (TP). En la Figura 10 se muestra la interacción del perfil de viscosidades con la variación de la temperatura en la harina de cañihua.

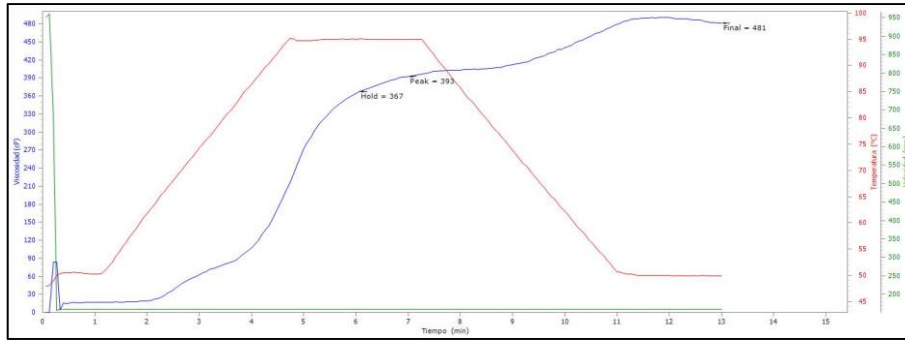


Figura 10: Perfil viscoamilográfico de la harina de cañihua

La Figura 11 muestra la interacción del perfil de viscosidades con la temperatura en el almidón de maíz.

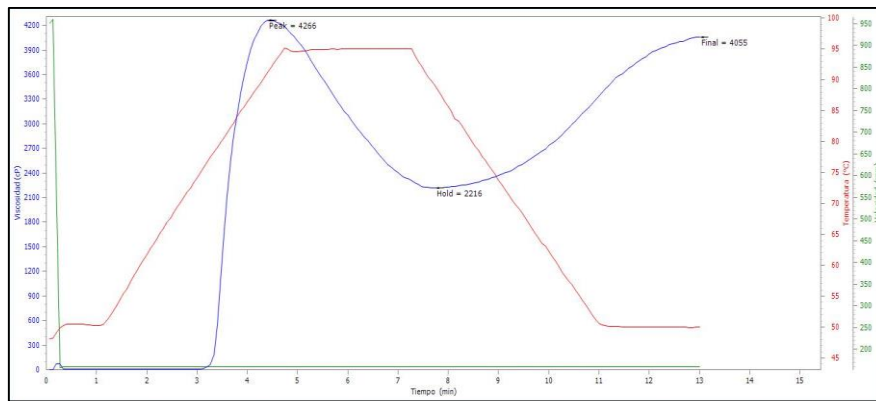


Figura 11: Perfil viscoamilográfico del almidón de maíz

La Figura 12 muestra la interacción del perfil de viscosidades con la temperatura en la harina de arroz.

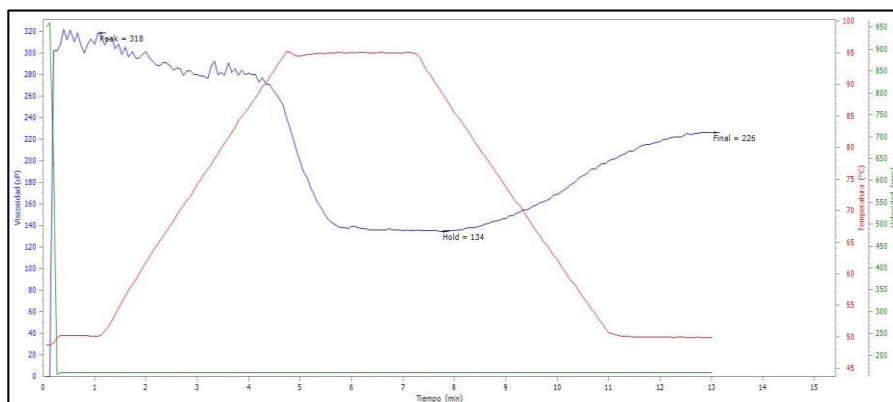


Figura 12: Perfil viscoamilográfico de la harina de arroz

La Tabla 10 muestra los valores de las propiedades viscoamilograficas de las materias primas utilizadas.

Tabla 10: Perfil viscoamilográfico de las harinas

Materias primas	Propiedades viscoamilográficas (cP)					
	Viscosidad pico VP (cP)	Viscosidad de caída VM (cP)	Breakdown B (cP)	Viscosidad final VF (cP)	Retrogradación VR (cP)	Temperatura pico PT (°C)
Harina de arroz	319,5 ^a (2,12)	134,5 ^a (0,71)	185 ^a (1,41)	227 ^a (1,41)	92,5 ^a (0,71)	0 ^a (0)
Harina de cañihua	397,5 ^b (6,36)	371 ^b (5,66)	26,5 ^b (0,71)	487,5 ^b (9,19)	116,5 ^a (3,54)	0 ^a (0)
Almidón de maíz	4284,5 ^c (26,16)	2241,5 ^c (36,06)	2043 ^c (9,9)	4152,5 ^c (137,89)	1911 ^b (101,82)	77,1 ^b (0,57)

Los superíndices (a, b, c) muestran diferencias significativas entre los valores obtenidos de viscosidad pico (VP), viscosidad de caída (VM), Breakdown (B), viscosidad final (VF), retrogradación (R) y la temperatura pico (TP) de la harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz.

La Tabla 11 muestra las propiedades viscoamilográficas de las diez formulaciones.

Tabla 11: Perfil viscoamilográfico de las mezclas de las harinas

Mn	Propiedades viscoamilográficas (cP)					Temperatura pico PT (°C)
	Viscosidad pico VP (cP)	Viscosidad de caída VM (cP)	Breakdown B (cP)	Viscosidad final VF (cP)	Retrogradación VR (cP)	
1	965 ^{de} (2,83)	887,5 ^{cd} (6,36)	87,5 ^c (3,54)	1408,5 ^c (17,68)	531 ^{abc} (24,04)	77,525 ^a (1,24)
2	931,5 ^{cd} (19,09)	893 ^d (2,83)	38,5 ^{ab} (16,26)	1429,5 ^c (28,99)	536,5 ^{abc} (26,16)	78,25 ^{abc} (0)
3	947,5 ^d (3,54)	851,5 ^c (2,12)	96 ^c (5,66)	1411,5 ^c (9,19)	560 ^{bcd} (11,31)	74,275 ^{abc} (1,17)
4	1138,5 ^g (9,19)	1029 ^f (7,07)	109,5 ^c (2,12)	1703,5 ^e (3,54)	674,5 ^f (10,61)	77,9 ^{ab} (0,64)
5	1049 ^f (8,49)	959 ^e (1,41)	90 ^c (7,07)	1593,5 ^d (33,23)	634,5 ^{def} (31,82)	78,3 ^{abc} (1,06)
6	906 ^c (4,24)	854,5 ^c (13,44)	51,5 ^b (9,19)	1442 ^c (18,38)	587,5 ^{cde} (31,82)	79,1 ^{abc} (1,20)
7	677,5 ^a (2,12)	656,5 ^a (0,71)	21 ^a (1,41)	1129 ^a (5,66)	472,5 ^a (4,95)	79,525 ^{bc} (0,53)
8	751,5 ^b (17,68)	737 ^b (15,56)	14,5 ^a (2,12)	1273 ^b (7,07)	536 ^{abc} (8,49)	79,975 ^c (0,11)
9	747,5 ^b (0,71)	710 ^b (2,83)	37,5 ^{ab} (3,54)	1211 ^b (4,24)	501 ^{ab} (1,41)	79,05 ^{abc} (0)
10	1001 ^e (2,83)	947 ^e (9,9)	54 ^b (7,07)	1594 ^d (26,87)	647 ^{ef} (16,97)	79,1 ^{abc} (0)

La Tabla 12 muestra los valores del análisis de varianza y ajuste del modelo matemático.

Tabla 12: Análisis de varianza de las viscosidades

Variable respuesta	Modelo	F-value	p-value	R²	R² ajustado	R² predicted	Adeq Precision
Viscosidad pico (cP)	Lineal	51,78	<0,0001	0,9367	0,9186	0,8660	20,0482
Viscosidad de caída (cP)	Lineal	58,24	<0,0001	0,9433	0,9271	0,8789	21,5109
Breakdown (cP)	Lineal	33,96	<0,0001	0,9066	0,8799	0,8019	12,5300
Viscosidad final (cP)	Lineal	386,63	<0,0001	0,9910	0,9885	0,9826	55,4260
Setback (cP)	Lineal	60,53	<0,0001	0,9453	0,9297	0,8675	21,9277

Se muestra que los modelos obtenidos fueron lineales y los R² resultaron cercanos a 1.

En la Tabla 13 se muestran las ecuaciones obtenidas de la mezcla del almidón de maíz (A), harina de arroz (B) y harina de cañihua (C) de las variables respuesta Viscosidad pico (P1), viscosidad de caída (P2), breakdown (P3) y viscosidad final (P4), setback (P5).

Tabla 13: Ecuaciones obtenidas de las viscosidades

Variable respuesta (Cp)	Ecuaciones
Viscosidad máxima	$P1= 1407,17*A + 496,06*B + 869,47*C$
Viscosidad mínima	$P2= 1232,77*A + 480,78*B + 846*C$
Breakdown	$P3= 174,41*A + 15,27*B + 23.46*C$
Viscosidad final	$P4= 2012,08*A + 838,53*B + 1413,57*C$
Setback	$P5= 779,31*A + 357,75 * B + 567,57 * C$

El analizador rápido de viscosidad (RVA) mide los cambios en la viscosidad aparente de una suspensión o dispersión de harina en agua, durante un ciclo de calentamiento y de enfriamiento, que son interpretados como propiedades de pasta (Loubes, 2015). La curva característica que provee el equipo, refleja los eventos moleculares que ocurren principalmente en los gránulos de almidón (Hasjim *et al.*, 2013).

En la Figura 16 se muestra el comportamiento de la viscosidad (cP) y la temperatura (°C) en función al tiempo, para la formulación 4 (40%AM, 20%HA,40%HC), la formulación 5 (40%AM, 24.18%HA, 35.82%HC), la formulación 7 (30%AM, 30%HA,40%HC) y la formulación 9 (32.94%AM, 30%HA, 37.06% HC) en cual se observa las dos viscosidades pico máximas y mínimas respectivamente. Las diferencias en reología pueden ser atribuidas a las diferencias estructurales de la base almidonosa que da lugar a diferentes grados de compactación (De la Hera *et al.*, 2013) así como a la mayor capacidad de absorción de agua de la harina con respecto a los almidones, provocada por su mayor contenido en proteína y mayor cantidad de almidón dañado, estas propiedades pueden variar en función de las técnicas de molienda y propiedades del grano (Schober, 2009). En la Figura 13 se muestra la relación de temperatura y viscosidad en función al tiempo.

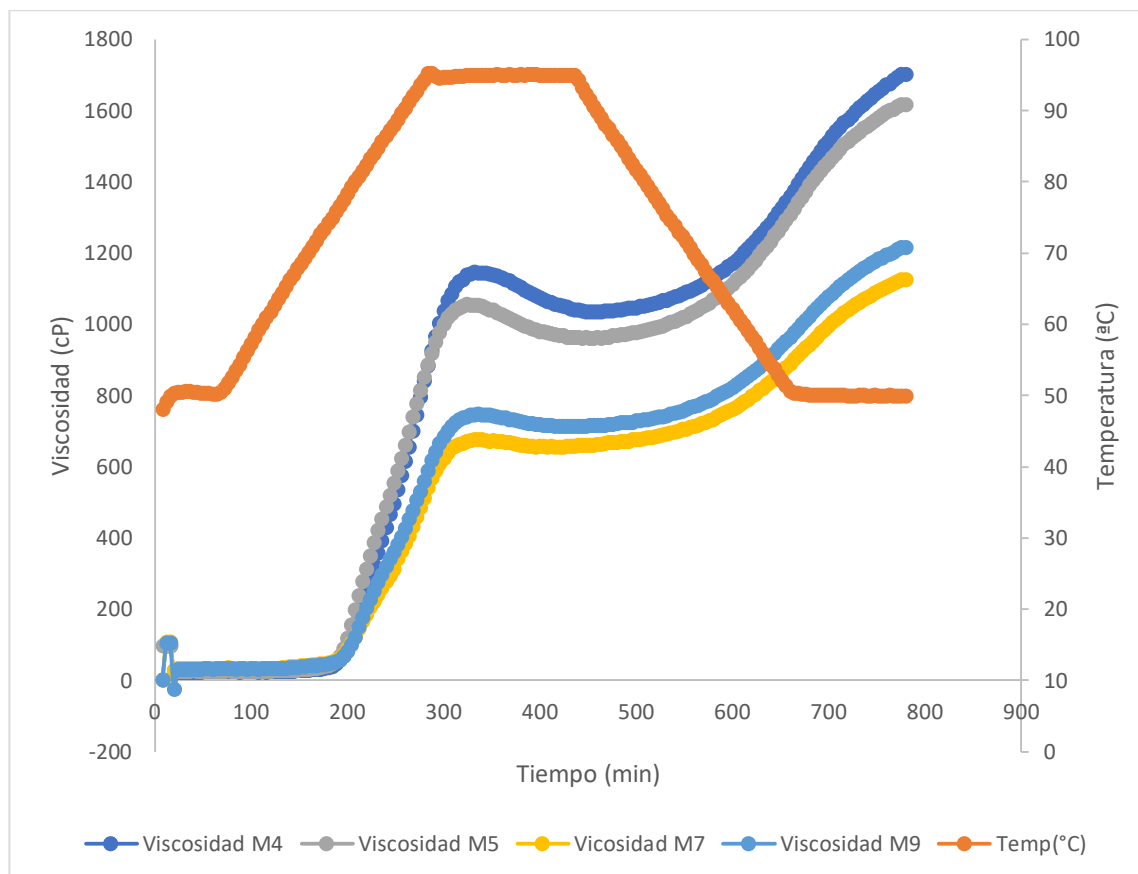


Figura 13: La temperatura y la viscosidad de la mezcla en las formulaciones M4, M5, M7 y M9 en función al tiempo

En la Figura 13 se observa que se obtuvo la máxima temperatura pico en la formulación 4 y el mínimo valor en la formulación 7. Asimismo, se observa en la Tabla 11 que el máximo valor de TP se obtuvo en la formulación 8 (30%AM, 24% HA, 46% HC) con 79.975°C, dicho valor fue significativamente diferente con las otras formulaciones. Al incrementar la temperatura se produjo el aumento de la viscosidad, debido a que los gránulos comienzan a apretarse unos contra otros formando una pasta, conociéndose este momento como temperatura de pasta (TP) (Roudot, 2004).

Hasjim *et al.*, (2013) señalaron que TP, es la temperatura en donde la viscosidad empieza a desarrollarse durante el calentamiento en el RVA, y no refleja la temperatura de gelatinización, tal como lo midió por Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC), en el cual representa la conversión de la estructura semicristalina del almidón a la amorfa, por lo tanto, deduce que son propiedades diferentes. En el presente trabajo, los valores de TP variaron entre 74.275 – 79.975 °C.

La Figura 14 muestra el mayor valor de la viscosidad pico (VP), o también llamada viscosidad máxima, fue logrado por la formulación 4 (AM 40%, HA 20% y HC 40%) el cual fue un valor de 1138,5 cP y el menor valor de VP se manifestó en la formulación 7 (AM 30%, HA 30% y HC 40%) con 677,5 cP. La VP de las formulaciones se vieron afectadas significativamente por la inclusión de almidón de maíz, por ello, se obtuvo el menor valor de viscosidad con la mínima cantidad de almidón de maíz y la máxima viscosidad con la mayor cantidad de almidón de maíz. Malavet (2009) mencionó que la VP refleja el grado de hinchamiento o la capacidad de retención de agua de la harina, y a menudo se correlaciona con la calidad del producto final, ya que los gránulos hinchados y colapsados se relacionan con la textura del almidón cocido. Ragaee & Abdel-Aal (2006) señalaron que la viscosidad pico a menudo se correlaciona con la calidad del producto final y comportamiento del producto durante el proceso. Por otro lado, una miga más suave se logra cuando se tienen bajos valores de VP (Horstmann *et al.*, 2017). Asimismo en el ANEXO 1 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones de la viscosidad pico.

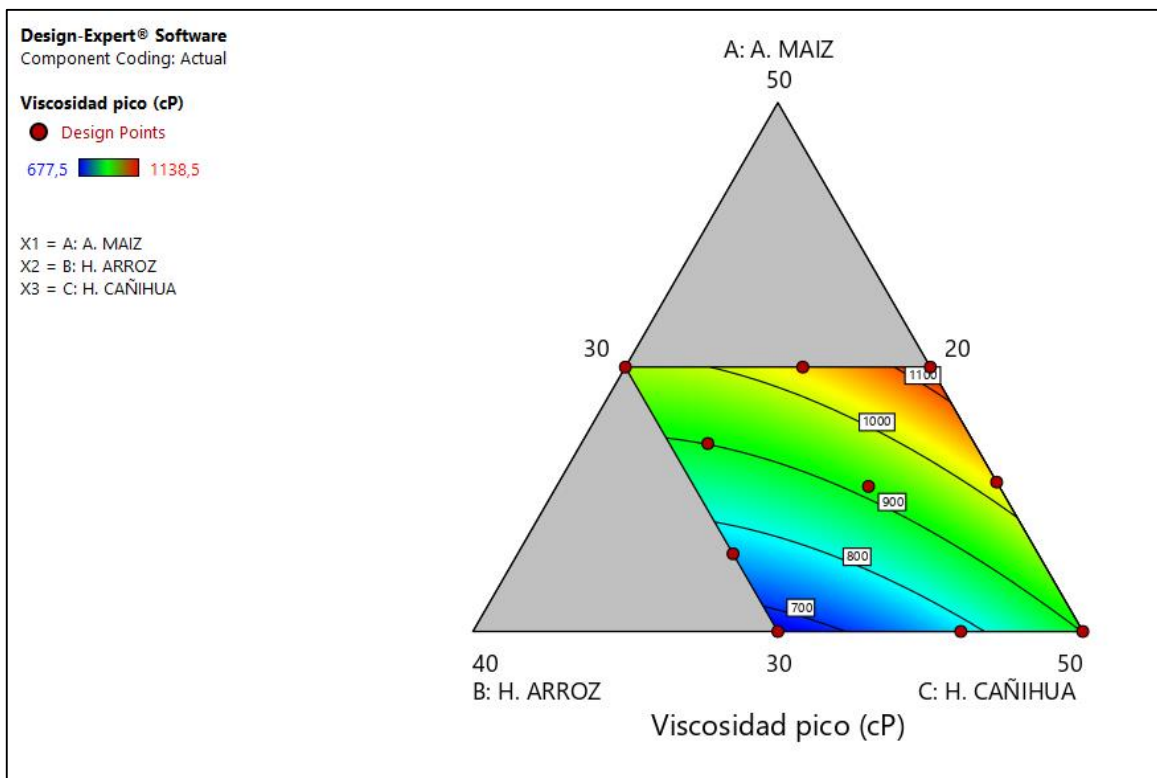


Figura 14: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de Viscosidad pico (VP)

La viscosidad mínima (VM) se muestra en la Figura 15, siguió un comportamiento similar, siendo la harina de arroz la que influyó más en la obtención de los valores bajos de viscosidad, el máximo valor fue de 1029 cP en la formulación 4 (AM 40%, HA 20% y HC 40%) y el mínimo valor de 656,5 cP en la formulación 7 (AM 30%, HA 30% y HC 40%), ésta viscosidad es el valor mínimo (viscosidad media, VM) al final del período de calentamiento, esta caída se debe al rompimiento de los gránulos de almidón y a la lixiviación de las cadenas (Gómez *et. al.*, 2007). Ambas formulaciones tienen el contenido de almidón de maíz máximo y mínimo de acuerdo al rango establecido respectivamente y la misma cantidad de harina de cañihua. La viscosidad de caída es influenciada por la tasa de exudación de la amilosa, el hinchamiento del granulo y la formación de complejos entre la amilosa y los lípidos (Cappa *et al.* 2013). Asimismo en el ANEXO 1 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones de la viscosidad de caída.

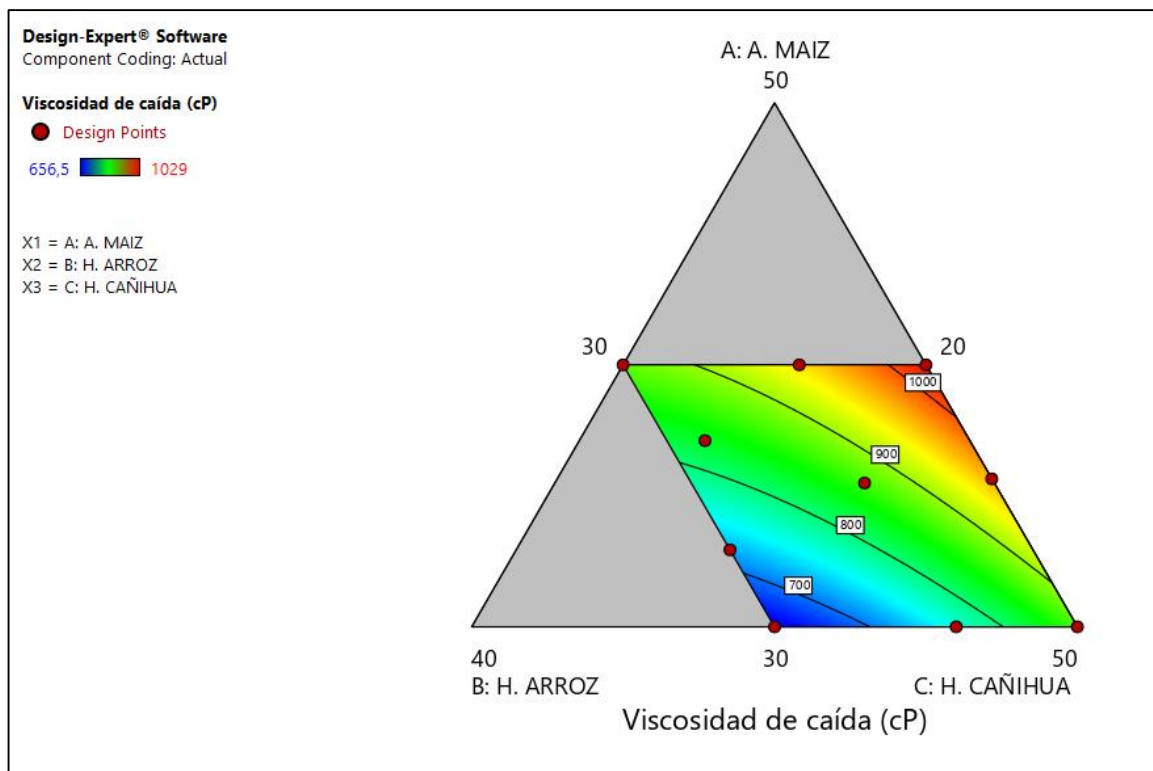


Figura 15: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de Viscosidad de caída (VM)

En la Figura 16 se muestra los valores del Breakdown en las 10 formulaciones de la mezcla de harinas.

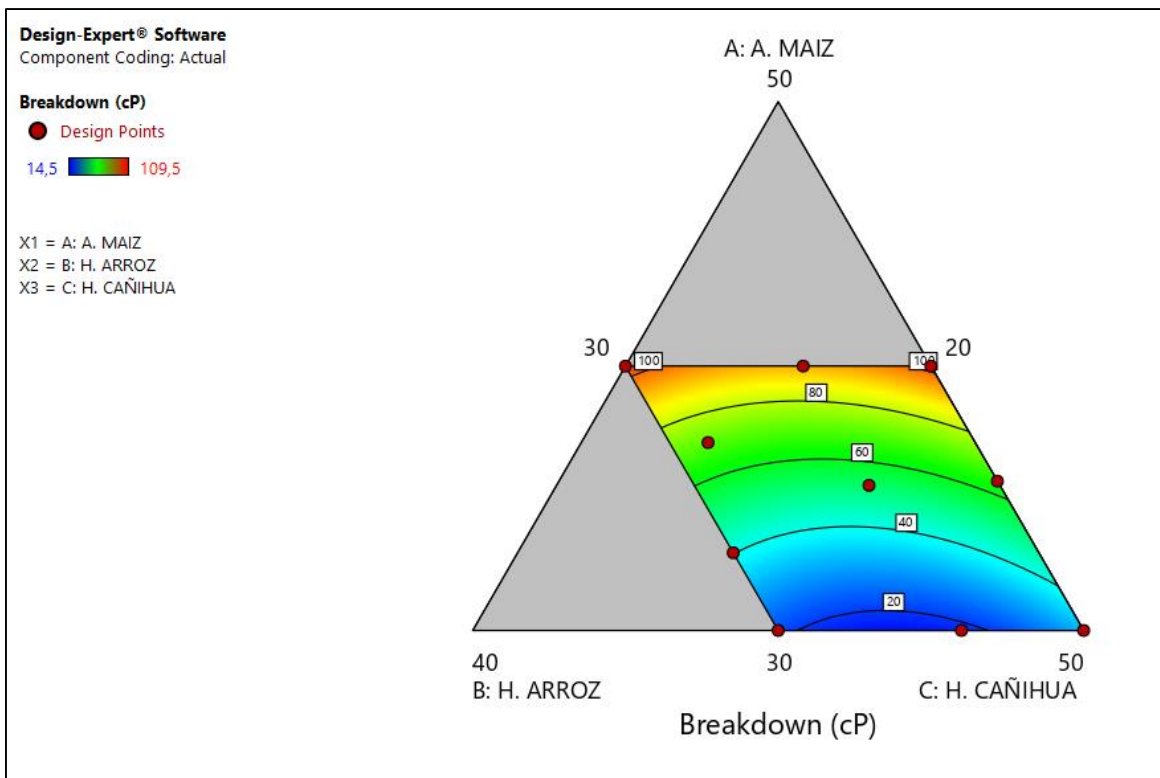


Figura 16: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de Breakdown (B)

Los valores de breakdown se encontraron en el rango de 14.5-109.5 cP en la formulación 8 (30% AM, 24% HA, 46% HC) y la formulación 4 (40% AM, 20% HA, 40% HC) respectivamente. En el cual el máximo valor de breakdown tiene el máximo valor de almidón de maíz (40%). El breakdown correlaciona la capacidad del almidón de soportar el calentamiento y el esfuerzo de corte, por ello es un factor importante en numerosos procesos industriales; usualmente, altos valores de breakdown están asociados a altas viscosidades de pico (Ragae & Abdel-Aal, 2006), lo cual corrobora los valores obtenidos en la Tabla 11. Asimismo, el almidón que se hincha más rápidamente, se rompe con mayor facilidad, y mayor viscosidad imparte al sistema. Sciarini *et al.* (2010) evaluaron que a medida que la temperatura aumenta y los gránulos absorben suficiente agua como para romperse, se observa una disminución en la viscosidad, ésta disminución recibe el nombre de breakdown (BD). Asimismo en el ANEXO 1 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones del breakdown.

Los valores de retrogradación se encontraron entre 472.5- 674.5 cP en la formulación 7 (30% AM, 30% HA, 40% HC) y la formulación 4 (40% AM, 20% HA, 40% HC)

respectivamente. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, la incorporación de la harina de cañihua disminuyó significativamente los parámetros de viscosidad del sistema cuando se mezcló con las harinas de arroz y almidón de maíz, Malavet (2009) reportó una caída en los valores de VP y VR cuando la harina de tarwi se mezcló con la harina de arroz y almidón de maíz, asimismo señala esta disminución está relacionada con la dilución del almidón causada por la presencia de proteínas. Las proteínas de cañihua pueden actuar como relleno inactivo interfiriendo la asociación de los enlaces de hidrógeno entre las moléculas del almidón (León & Urbina, 2015). En la Figura 17 se muestra el comportamiento de la retrogradación en las formulaciones de la investigación. Asimismo en el ANEXO 1 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones de la viscosidad de retrogradación.

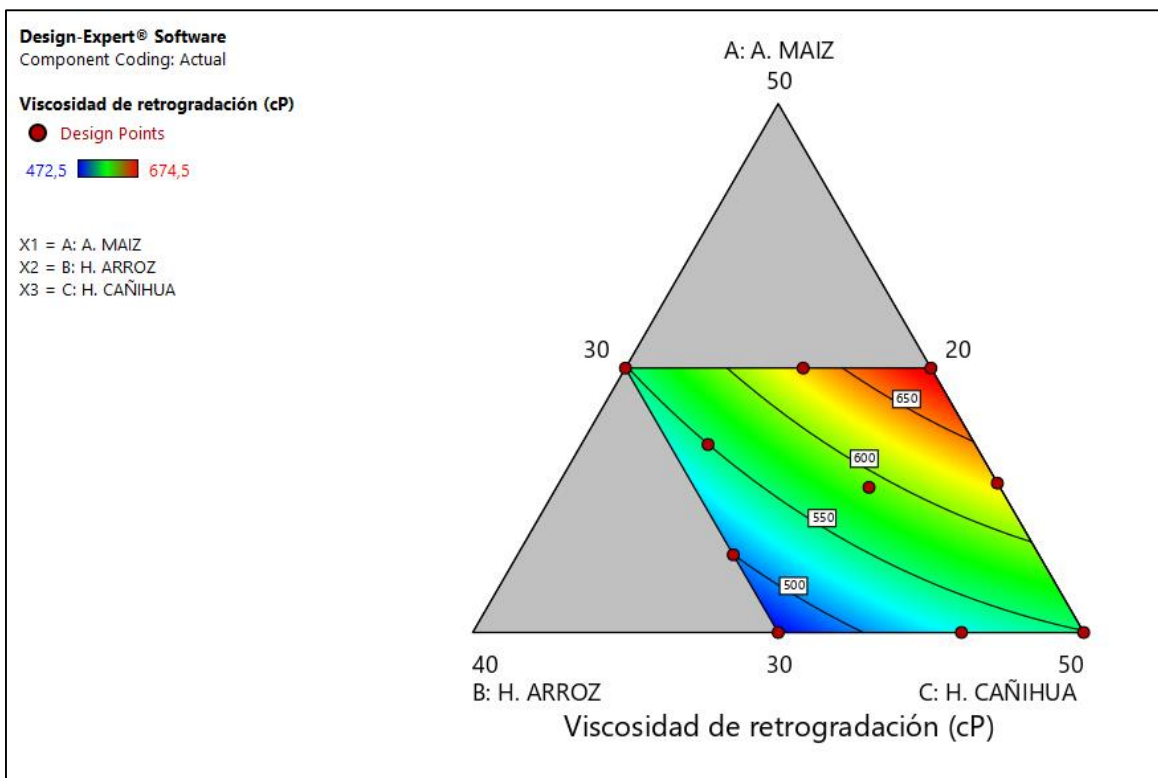


Figura 17: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de Setback (cP)

De acuerdo a Malavet (2009), la elevación de la viscosidad fue medida como la diferencia entre VF y VM, denominada viscosidad de recuperación (SB), la cual es un indicador de la textura del producto final y se relaciona a la sinéresis o exudación generada por los ciclos de congelación-descongelación. Asimismo, denominó la viscosidad de recuperación (SB) como

el incremento de la viscosidad, la cual es medida como la diferencia entre VF y VM, como indicadores de textura del producto final y se vincula a la sinéresis o exudación provocada por los ciclos de congelación-descongelación Malavet (2009). Adebowale & Lawal (2003) añadieron que el aumento de la viscosidad, al enfriar a 50 °C la suspensión gelatinizada, es la consecuencia de la reasociación de las moléculas de almidón para formar una pasta viscosa o un gel, alcanzando así, la viscosidad final.

Hyun-Jung & Quian (2009) ; Hosney, C. (2018) mencionaron que la amilosa es la principal responsable de la retrogradación, debido a que sus cadenas lineales se unen a través de puentes de hidrógeno formando una malla que empieza a crecer o engrosarse conforme transcurre en tiempo de almacenamiento, por lo que a mayor contenido de amilosa mayor retrogradación. Además, señala que más que asociar la retrogradación al contenido de amilosa lo asocian con la longitud de sus cadenas. Los bajos valores de VR obtenidos en las formulaciones indican que las mezclas tendrán una baja tasa de retrogradación y sinéresis del almidón (Ragae & Abdel-Aal, 2006), lo cual es beneficioso para la calidad del producto terminado.

Marco & Rosell (2008), también reportaron la disminución de la VP y VR cuando la harina de cañihua se mezcló con la harina de arroz y almidón de papa. Malavet (2009) indicó que la caída en la viscosidad de las mezclas de almidones y harinas, se da debido a las interacciones que tienen los almidones con la grasa y proteína de la harina. Por lo tanto, es de esperar que el elevado contenido de proteínas y grasa en la harina de cañihua afecte significativamente las propiedades de pasta de los tratamientos. Moore *et al.* (2004) concluyeron que al añadir las cantidades suficientes de una fuente proteica adecuada favorece por más tiempo la calidad del pan, asimismo, la formación de una fase proteica continua sería un punto crítico al enmascarar los efectos de la retrogradación del almidón.

Las interacciones entre las harinas de arroz y almidón de maíz tuvieron efectos no aditivos en los parámetros de viscosidad en el sistema acuoso, según Gray & Bemiller (2003) este comportamiento se observa cuando los almidones mezclados tienen diferentes temperaturas de gelatinización ya que la amilopectina solubilizada del almidón, que gelatiniza primero, puede formar una red atrapando los gránulos del otro almidón evitando así su correcta gelatinización. Asimismo, Zhou *et al.* (2003) corroboraron lo mencionado al señalar que estos mismos efectos son no aditivos y no lineales en las propiedades de pasta, ya que el

almidón con temperatura de gelatinización más baja tiende a unir el agua y gelatinizarse primero, interfiriendo con la gelatinización de los demás almidones en una mezcla.

Noel *et al.* (1992) mencionaron que el rango de temperatura de gelatinización de almidón de maíz normal (27 % de amilosa) es de 62-72°C mientras que la temperatura de gelatinización del almidón de arroz se encuentra 76.41°C y 78.26°C (Rodríguez *et al.*, 2011); por lo tanto, es de esperar que el almidón de maíz gelatinice primero e interfiera con la gelatinización de los gránulos de almidón de arroz disminuyendo así los parámetros de viscosidad de las mezclas.

A mayor tamaño de partícula mayor pico de viscosidad y menor tiempo y temperatura se tendrá para alcanzar la viscosidad pico (Narváez *et al.*, 2007); en el cual la molécula se rompe generando una difusión de amilosa y amilopectina, por consiguiente, una mezcla de gránulos hinchados ricos en amilopectina, gránulos fundidos hidratados y moléculas disueltas de amilosa (Howling, 1980). La elevación de la proporción de amilopectina generará picos de viscosidad máxima más altos, sin embargo, que una mayor proporción de amilosa causa el efecto opuesto (Alvis *et al.*, 2008), lo anterior es corroborado por Li & Nie (2016), quienes señalaron que la viscosidad de pico o el hinchamiento de los gránulos de almidón son propiedades de la amilopectina, mientras que los complejos que se generan entre los lípidos y la amilosa pueden inhibir el hinchamiento del gránulo reduciendo dicha propiedad.

La máxima viscosidad es el resultado del máximo hinchamiento, formándose una dispersión en medio acuoso, la cual es llamada pasta o engrudo (Zhou *et al.*, 2003). A medida que la temperatura de una suspensión acuosa a base de almidón es mayor a la temperatura de gelatinización, los enlaces de hidrógeno siguen destruyéndose, asimismo, las moléculas de agua empiezan a anexarse a los hidroxilos liberados y los gránulos se continúan hinchando (Moore *et al.*, 2004), como resultado directo del hinchamiento de los gránulos hay un incremento de la solubilidad del almidón (Aristizábal & Sánchez, 2007).

Los valores de viscosidad final se encontraron entre 1129 – 1703.5 cP en la formulación 7 (30%AM, 30%HA, 40%HC) y en la formulación 4 (40%AM, 20%HA, 40%HC) respectivamente. El aumento de la viscosidad, al enfriar a 50 °C la suspensión gelatinizada,

es la consecuencia de la reasociación de las moléculas de almidón para formar una pasta viscosa o un gel, alcanzando así, la viscosidad final (Adebowale & Lawal, 2003). De acuerdo con Álvarez *et al.* (2010), la VF es un indicador importante de la resistencia de la pasta formada durante el enfriamiento, y representa un parámetro de calidad importante. En la Figura 18 se muestra el comportamiento de la viscosidad final en las formulaciones de la investigación. Asimismo en el ANEXO 1 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones de la viscosidad final.

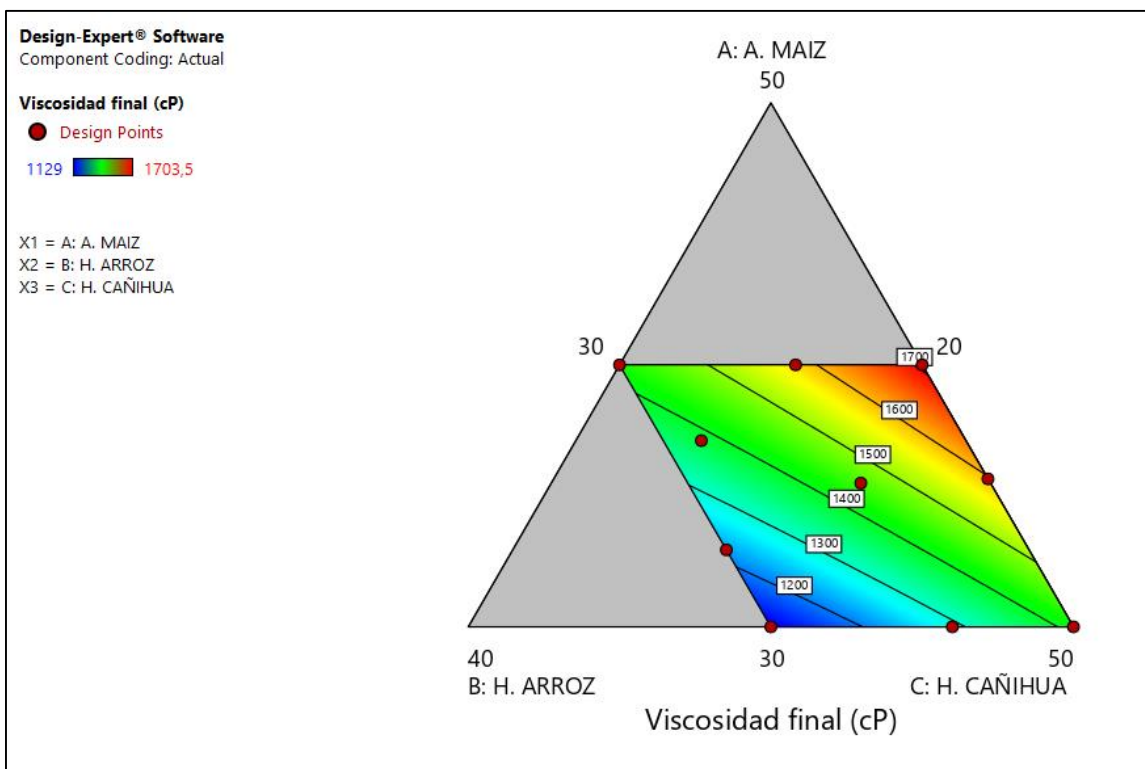


Figura 18: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de viscosidad final (VF)

Como se muestra en la Tabla 11, para todas las formulaciones, los valores de VF fueron superiores a los valores de VP, lo cual es beneficioso ya que en las formulaciones de panes sin gluten se desea que la viscosidad de los batidos sea estable durante la operación de horneado para que de esta manera se pueda retener el gas producido durante el proceso de fermentación o el aire incorporado durante el batido (Ziobro *et al.*, 2016). Asimismo, la viscosidad final, que indica la capacidad del material para formar una pasta viscosa, se debe a la retrogradación de las moléculas de amilosa que se produce durante el enfriamiento, formando una red que aumenta la viscosidad de la harina y/o pasta de almidón (Aristizábal

& Sánchez, 2007). Normalmente, esta viscosidad aumenta tras el enfriamiento debido a la agregación de las moléculas de almidón (Li & Nie, 2016).

4.2. PROPIEDADES DE LOS BATIDOS

4.2.1. PROPIEDADES DE TEXTURA EN LOS BATIDOS

En la Tabla 14 se muestra los valores de los resultados obtenidos del análisis de perfil de textura de los batidos sin gluten; firmeza, consistencia, cohesividad e índice de viscosidad, a base de las mezclas de almidón de maíz, harina de arroz, harina de cañihua, asimismo los ingredientes con cantidades establecidas en la Tabla 5 excepto la levadura.

Tabla 14: Propiedades texturales de los batidos sin gluten

Mn	Firmeza (N)	Consistencia (N.s)	Cohesividad (N)	Índice de viscosidad (N.s)
1	19,26 ^e (0,16)	128,66 ⁱ (0,27)	14,42 ^f (0,13)	131,33 ^h (0,16)
2	6,56 ^a (0,27)	33,77 ^a (0,08)	2,78 ^a (0,01)	53,91 ^a (0,01)
3	13,14 ^c (0,54)	90,99 ^f (0,04)	8,51 ^d (0,04)	94,25 ^e (0,03)
4	7,73 ^a (0,21)	60,93 ^b (0,04)	6,99 ^b (0,26)	71,15 ^b (0,04)
5	17,41 ^d (0,88)	121,27 ^h (0,04)	16,55 ^g (0,24)	135,15 ⁱ (0,06)
6	17,87 ^d (0,86)	125,69 ⁱ (0,03)	16,55 ^g (0,14)	138,14 ^j (0,04)
7	9,72 ^b (0,51)	74,49 ^e (0,02)	7,95 ^c (0,02)	86,89 ^d (0,03)
8	11,92 ^c (0)	69,36 ^c (0,04)	10,84 ^d (0,03)	100,60 ^g (0,08)
9	12,21 ^c (0,34)	91,57 ^g (0,01)	8,45 ^d (0,07)	98,97 ^f (0,02)
10	9,12 ^b (0,5)	72,97 ^d (0,02)	7,81 ^c (0,01)	86,71 ^c (0,04)

Los superíndices (a, b, c, d, e,) describen que hay diferencias significativas en entre las formulaciones de panes, de las propiedades texturales de firmeza, consistencia, cohesividad, índice de viscosidad.

En la Tabla 15 se muestra los modelos polinómicos predichos que muestran el efecto de cada ingrediente de las mezclas de almidón de maíz (AM), harina de arroz (HA) y harina de cañihua (HC) y sus interacciones significativas sobre las propiedades texturales de los batidos; Firmeza (P6), Consistencia (P7), Cohesividad (P8) e índice de viscosidad (P9).

Tabla 15: Ecuaciones obtenidas en las propiedades de textura en los batidos sin gluten

Variable respuesta	Ecuaciones
Firmeza (N)	$P6 = -13,39*A - 38,70*B + 5,56*C + 161,35*AB + 46,97*AC + 102,63*BC$
Consistencia (N.s)	$P7 = -103,55*A - 191,45*B + 27,49*C + 975,79*AB + 411,96*AC + 599,56*BC$
Cohesividad (N)	$P8 = -6,29*A - 52,45*B + 2,29*C + 153,34*AB + 38,16*AC + 128,23*BC$
Índice de viscosidad (N.s)	$P9 = -61,56*A - 249,88*B + 50,71*C + 1014,21*AB + 324,12*AC + 726,32*BC$

Existe varios factores que involucra en la firmeza (N), consistencia (N.s), cohesividad (N) e índice de viscosidad (N.s) en los batidos del pan sin gluten. Mancebo *et al.* (2015) mencionaron que sobre la textura influyen la cantidad de metabolitos generados por la levadura durante la fermentación y el aumento de presencia de gases en el interior de los batidos, esencialmente el dióxido de carbono. Asimismo, los constituyentes del batido, los diferentes almidones, aislado de proteína de soya, lípidos, hidrocoloides y carbohidratos, van a estar compitiendo por el agua disponible (Cappa *et al.* 2013; De la Hera *et al.* 2014), lo que afecta en estas variables respuesta en cuanto a la variación de cada ingrediente de la mezcla de las harinas. La interacción de un emulsionante con las proteínas de los ingredientes puede mejorar la fuerza de los batidos favoreciendo la retención de CO₂ (Sciarini, 2012), ello quiere decir que la misma cantidad de emulsionante puede tener un efecto distinto en cada formulación, ya que va a depender de la interacción en cada una de ellas.

En la Tabla 16 se muestra los resultados del análisis de varianza y ajuste del modelo matemático seleccionado para explicar el comportamiento de las propiedades texturales de los batidos libres de gluten para las variables respuesta: Firmeza (N), Consistencia (N.s.), Cohesividad (N) e índice de viscosidad (N.s).

Tabla 16: Valores del método estadístico (ANOVA) y ajuste del modelo estadístico sobre las propiedades de textura en los batidos libres de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua

Variable respuesta	ANOVA						Ajuste de modelo				
	Modelo	F-value	AB	BC	AC	p-value	Lack of Fit (p-value)	R ²	R ² ajusted	R ² predicted	Adeq Precision
Firmeza (N)	Polinomial	14,03	0,0039	0,0048	" "	<0,0001	0,012	0,9461	0,8787	0,5443	10,5676
Consistencia (N.s)	Polinomial	17,98	0,0043	0,0059	0,0195	<0,0001	0,0076	0,9574	0,9041	0,6116	13,1985
Cohesividad (N)	Polinomial	27,97	0,0014	0,0408	0,0006	<0,0001	0,0033	0,9722	0,9374	0,7793	16,4498
Índice de viscosidad (N.s)	Polinomial	28,48	0,0011	0,0147	0,0009	<0,0001	0,0032	0,9727	0,9385	0,7606	16,6861

Se obtuvieron modelos polinomiales para cada una de las variables respuesta.

Los agentes de textura afectan las propiedades del batido y la calidad del pan final, asimismo son dependientes de varios factores como son; el origen del hidrocoloide, la estructura química, la concentración a la que se añade, el tamaño de partícula, técnica de aplicación y propiedades de las harinas (Bermiller, 2008).

Según la Tabla 14 la firmeza resultó en el intervalo 6.56-19.26 N, asimismo se observa el máximo valor con diferencia significativa a los anteriores en la formulación 1 (37.11% AM, 28.74% HÁ, 34.15%HC) y el mínimo valor en la formulación 2 (30%AM, 20%HA, 50%HC). Moore *et. al.* (2004) mencionaron que los batidos libres de gluten tendrán una mayor fuerza de extrusión, cuando poseen alto contenido proteico, asimismo, este comportamiento se debe, a priori, a dos factores principales: 1) alto contenido de proteínas de las harinas, que tienen una alta capacidad de absorción de agua, resulta en una disminución del agua libre del sistema; y 2) las interacciones almidón-proteína o proteína-proteína afectan el comportamiento de los batidos. Por lo cual se deduce que en la formulación 1 hubo una buena interacción almidón-proteína. Los batidos que presentaron mayor valor de resistencia dieron lugar a panes de menor volumen específico, asimismo un aumento de la actividad interfacial en los límites de los alveólos de gas en expansión, resulta en batidos más firmes (Onyango *et al.* 2009). En la Figura 16 se muestra el comportamiento bidimensional de la firmeza en las formulaciones de los batidos.

Sciarini (2012) afirmó que las interacciones entre los componentes de las harinas parecen jugar un papel fundamental a la hora de determinar la resistencia del sistema. Asimismo, Molina-Rosell (2013) mencionó que las cantidades de los componentes, en este caso las harinas, en cada formulación afectan de forma directa a las propiedades funcionales de los batidos de pan, así que su variación de las formulaciones da lugar a batidos diferentes y que generan panes con textura, efectos de calidad sensorial (color y sabor) y nutricional variable. Cajas (2018) añadió que una mayor resistencia a la deformación de la miga puede asociarse con una estructura más firme del batido.

De los resultados anteriores (Tabla 14), la consistencia (N.s) varió de 33.77-128.66 N.s, asimismo los mayores valores fueron en la formulación 1 (37.11% AM, 28.74% HÁ, 34.15 HC) con 128.66 N.s y en la formulación 6 (35.49%AM, 24.28%HA, 40.23%HC) con 125.69 N.s, sin diferencia significativa. Renzetti *et al.* (2017) sugirieron que una disminución en la consistencia mejora el desarrollo de los batidos debido a una menor resistencia a la expansión

durante la fermentación, mientras que otros autores señalaron que mayores consistencias conllevan a panes con mayor volumen específico, ya que un aumento en la viscosidad del batido aumenta la capacidad de retención de CO₂ (Marco & Rosell, 2008). En la Figura 19 se muestra el diseño gráfico de la firmeza de acuerdo al software Desing –Expert. Asimismo en el ANEXO 2 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones de la firmeza.

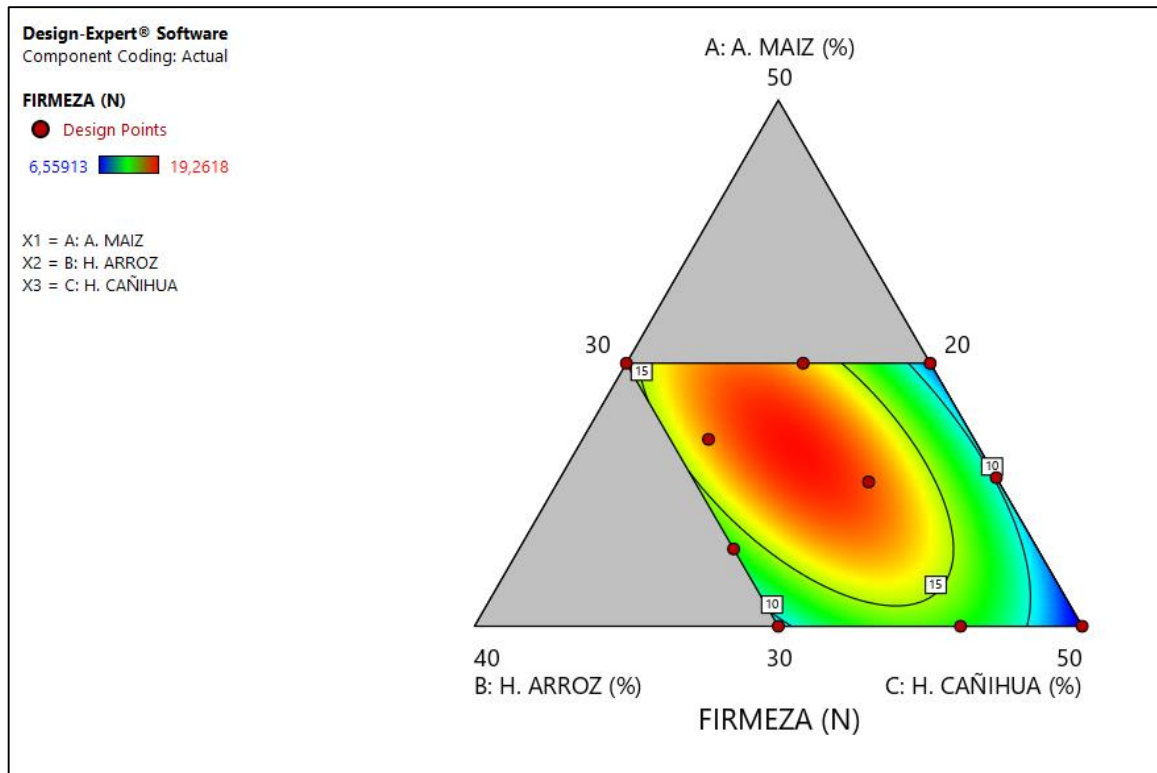


Figura 19: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de firmeza (N)

En los resultados obtenidos se observa que el máximo volumen (formulación 10) se obtuvo una firmeza del batido de 9.12 N, el cual es uno de los valores más bajo (no es el valor mínimo), por lo cual se podría decir que hay una relación inversa. En la Figura 20 se muestra el comportamiento bidimensional de la consistencia en las formulaciones de los batidos. Asimismo en el ANEXO 2 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones de la consistencia.

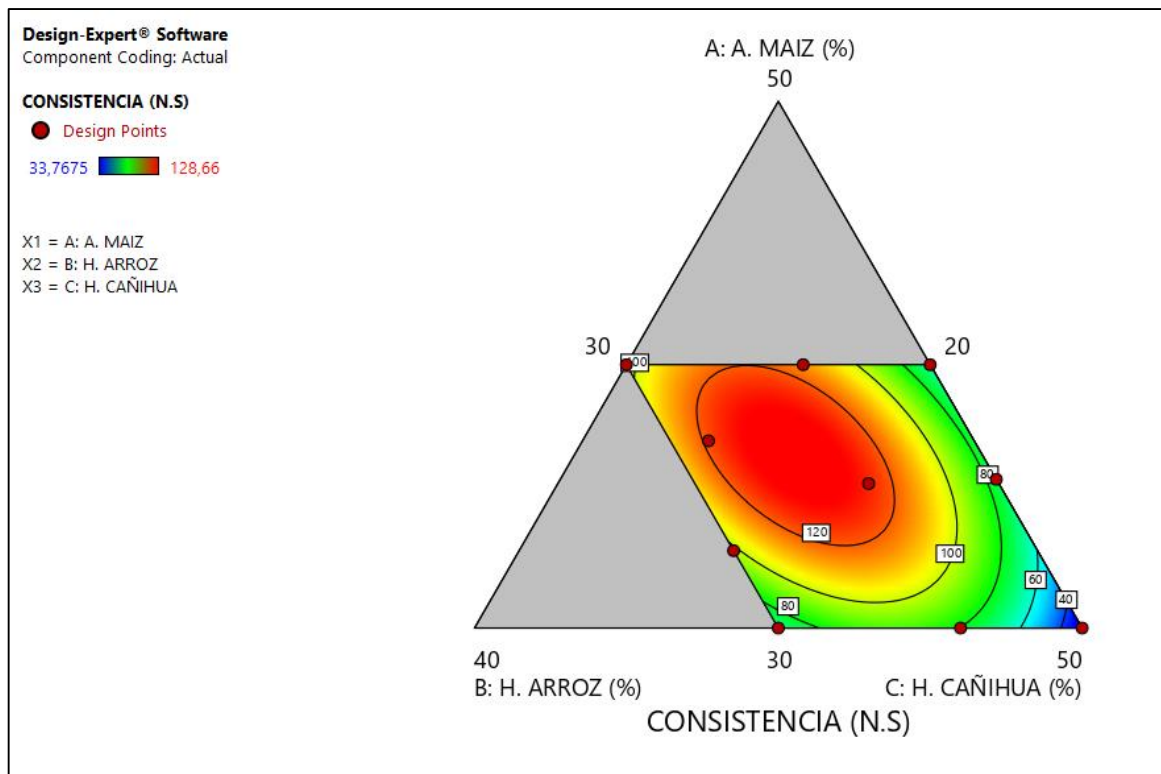


Figura 20: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de consistencia (N.s)

Según la Tabla 14 la cohesividad (N) osciló entre 2.78-16.65 N, cuyos valores máximos son en la formulación 5 (40%AM, 24.18%HA, 35.82%HC) y la formulación 6 (35.49%AM, 24.28%HA, 40.23%HC) ambos con 16.65 N, por lo tanto, no tuvieron diferencias significativas. Marco & Rosell (2008) señalaron una relación inversa entre la cohesividad y elasticidad. Sin embargo, el aumento en la elasticidad del batido refleja el grado de unión entre los elementos estructurales, por lo tanto, valores altos de elasticidad implican una menor deformación o ruptura de la red de material compuesto (Onyango *et al.* 2009).

Las formulaciones 5 y 6 con mayores valores de cohesividad, ambos con bajo contenido de harina de arroz alrededor de 24%, por lo que se deduce que la cohesividad se ve influenciada por el contenido de almidón de maíz y harina de cañihua con una suma de 76% en la mezcla de las formulaciones. Martín & Glauser (2001) señalaron que la cohesividad del batido es un indicador de calidad del pan fresco, deduciendo que se producirá panes más blandos cuando los batidos son más cohesivos. Figura 18 se muestra el comportamiento bidimensional de la cohesividad en las formulaciones de los batidos. En la Figura 21 se

muestra el diseño gráfico de la cohesividad de acuerdo al software Desing-Expert. Asimismo en el ANEXO 2 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones de la cohesividad.

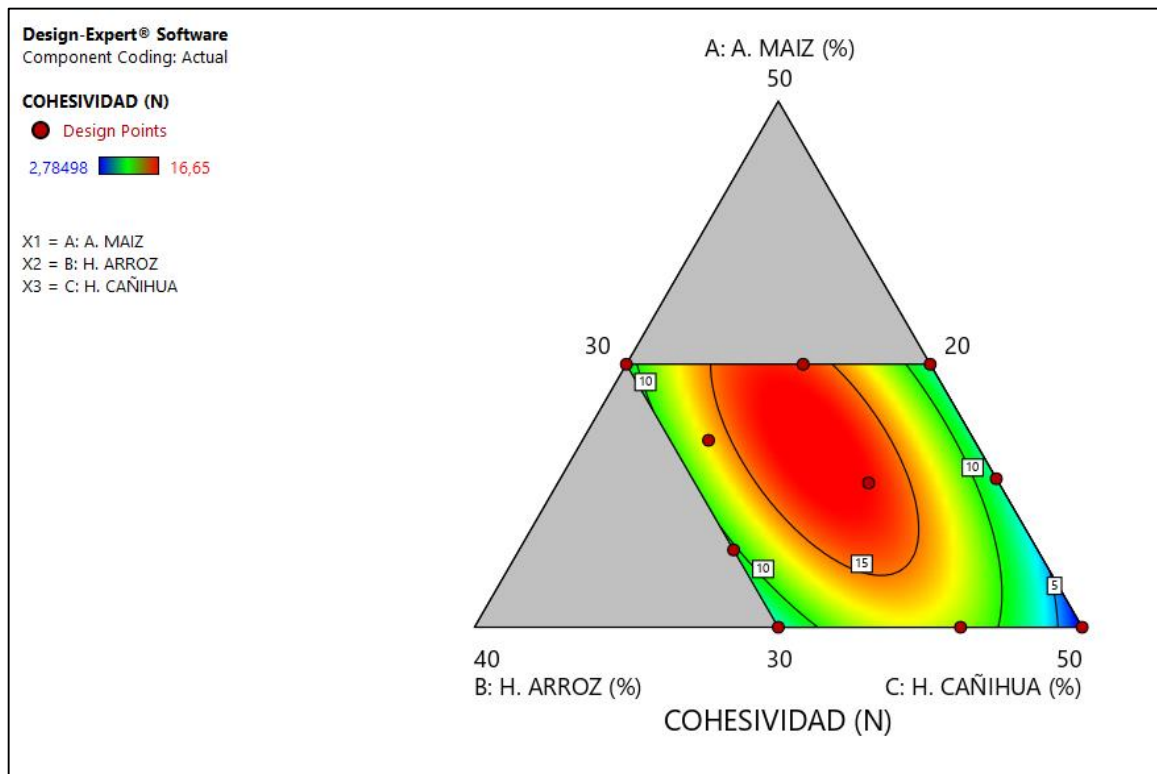


Figura 21: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de cohesividad (N)

De acuerdo a la Tabla 14 el índice de viscosidad (N.s) resultó en el intervalo 53.91-138.14 N.s, cuyos valores máximos se obtuvieron en la formulación 5 (40%AM, 24.18%HA, 35.82%HC) y en la formulación 6 (35.49%AM, 24.28%HA, 40.23%HC) con diferencias significativas, en dichas formulaciones hay un bajo contenido de harina de arroz alrededor del 24% , por lo que se deduce que la interacción del almidón de maíz y harina de cañihua con un contenido de 76% influye em el índice de viscosidad con um mayor valor. Figura 19 se muestra el comportamiento bidimensional del índice de viscosidad en las formulaciones de los batidos.

La Figura 22 muestra el diseño de mezclas de acuerdo al software Desing-Expert, para el índice de viscosidad de las diez formulaciones de pan sin gluten. Asimismo en el ANEXO 2 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones del índice de cohesividad.

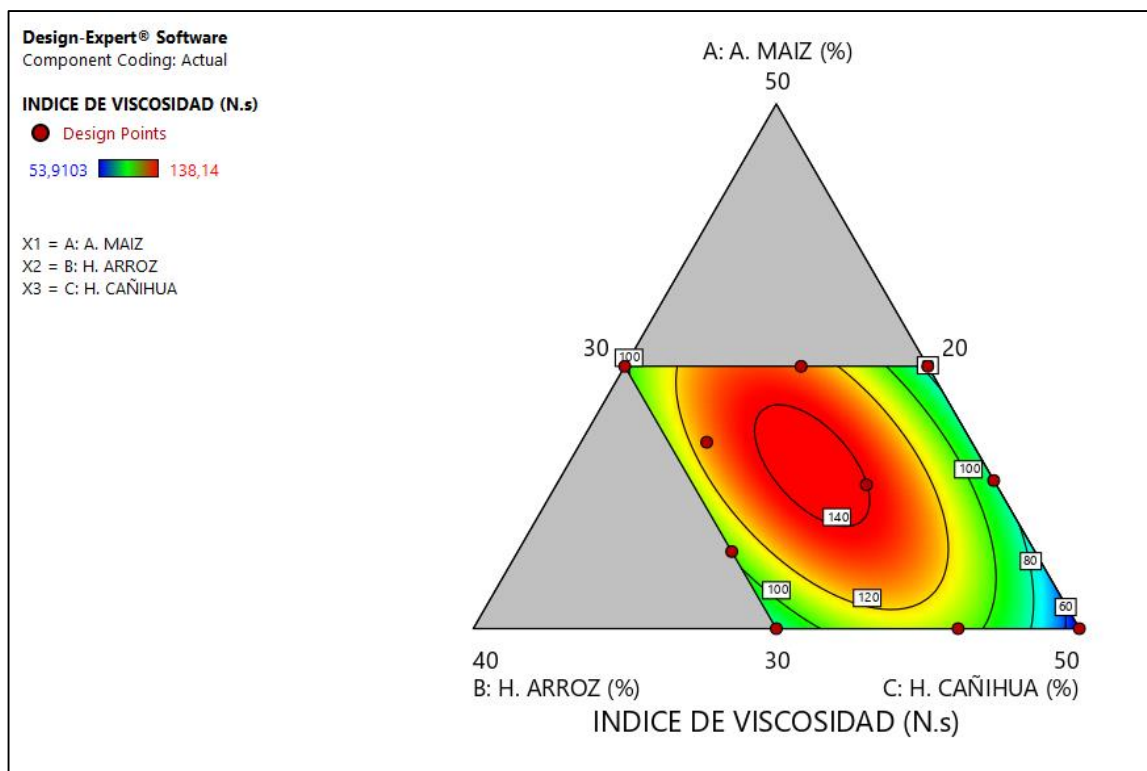


Figura 22: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en la propiedad de índice de viscosidad (N.s)

4.2.2. ANÁLISIS DE COLOR EN LOS BATIDOS

En la Tabla 17 se reporta los valores medios de L^* , a^* y c^* de los batidos obtenidos de las 10 formulaciones de las mezclas de las harinas, almidón de maíz (AM), harina de arroz (HA) y harina de cañihua (HC). Se pesó las cantidades de las materias primas de cada formulación, se mezcló de forma homogénea y posteriormente se realizó la medición con el equipo respectivo, generando los valores de L^* , a^* y b^* , y se obtuvo el promedio de las repeticiones para cada formulación, siendo este el reportado.

Tabla 17: Colorimetría de los batidos obtenidos a partir de las mezclas de las harinas

Mn	Porcentaje de harinas (%)			Color		
	Almidón de maíz	Harina de Arroz	Harina de cañihua	L*	a*	b*
1	37.11	28.74	34.15	53,87 ^f (0,24)	7,57 ^e (0,07)	17,72 ^b (0,10)
2	30	20	50	49,20 ^a (0,20)	7,71 ^f (0,06)	17,94 ^c (0,13)
3	40	30	30	52,82 ^e (0,42)	7,26 ^{bc} (0,08)	17,08 ^a (0,11)
4	40	20	40	51,57 ^d (0,16)	7,38 ^d (0,10)	17,66 ^b (0,09)
5	40	24.18	35.82	52,62 ^e (0,24)	7,07 ^a (0,02)	18,83 ^{de} (0,10)
6	35.49	24.28	40.23	50,97 ^c (0,07)	7,21 ^b (0,02)	18,81 ^{de} (0,06)
7	30	30	40	50,16 ^b (0,10)	7,35 ^{cd} (0,07)	18,73 ^d (0,10)
8	30	24	46	49,02 ^a (0,09)	7,53 ^e (0,02)	18,92 ^e (0,05)
9	32.94	30	37.06	50,90 ^c (0,09)	7,26 ^{bc} (0,02)	18,73 ^d (0,03)
10	35.65	20	44.35	51,03 ^c (0,12)	7,18 ^{ab} (0,01)	18,94 ^e (0,06)

Los superíndices (a, b, c, d, e, f) muestran diferencias significativas en los valores obtenidos de L*, a* y b*.

Según la Tabla 17 la formulación 1 (37.11%AM, 28.74%HA, 34.15%HC) obtuvo el mayor valor de L*=53.87, seguida por la formulación 3 (40%AM, 30%HA,30%HC) con L*=52.82 y 5 (40%AM, 24.18%, 24.18%HA, 35.82%HC) con L*=52.62; con diferencias significativas con estas últimas. En las tres formulaciones mencionadas hubo una mayor cantidad de almidón de maíz.

En la Tabla 17 se observa que el máximo valor de a*=7.71 en la formulación 2 (30%AM, 20%HA, 50%HC), con diferencias significativas a las demás formulaciones, ello indica una tendencia en al color rojo influenciado en gran medida por la harina de cañihua cuyo valor de a* es positivo, dicha formulación contiene el máximo valor de cañihua. Con respecto al valor de b* se observa que el máximo fue en la formulación 8 (30%AM, 24%HA, 46%HC)

con $b^*=18.92$ y la formulación 10 (35.65%AM, 20%HA, 44.35%HC) con $b^*= 18.94$, sin diferencia significativa. Ambas formulaciones tienen un alto contenido de harina de cañihua a comparación de la harina de arroz y almidón de maíz en cada una de las formulaciones.

4.3. PROPIEDADES DEL PAN DE MOLDE LIBRE DE GLUTEN

4.3.1. ANÁLISIS DE COLORIMETRÍA DEL PAN SIN GLUTEN

En la Tabla 18 se reporta los valores medios del análisis de colorimetría (L^* , a^* , b^*) evaluados en una sección de miga y corteza del pan sin gluten a base de almidón de maíz (AM), harina de arroz (HA) y harina de cañihua (HC).

Tabla 18: Análisis de colorimetría en la miga y corteza del pan sin gluten

Mn	Miga			Corteza		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
1	55,59 ^d	7,72 ^{ab}	16,59 ^b	37,91 ^{bc}	18,08 ^e	22,67 ^c (0,84)
	(1,41)	(0,43)	(0,52)	(0,73)	(0,37)	
2	49,27 ^a	8,70 ^c	16,66 ^b	42,68 ^d	13,95 ^a	22,74 ^c (0,74)
	(1,24)	(0,36)	(0,54)	(0,84)	(0,43)	
3	54,40 ^d	7,51 ^a	17,09 ^{bc}	36,60 ^{abc}	17,87 ^e	20,85 ^{abc} (1,09)
	(1,68)	(0,39)	(0,42)	(0,99)	(0,37)	
4	51,17 ^{ab}	8,61 ^c	17,72 ^c	35,43 ^a	17,16 ^{de}	22,23 ^c (1,10)
	(1,26)	(0,16)	(0,21)	(0,55)	(0,49)	
5	54,65 ^d	7,71 ^{ab}	16,97 ^{bc}	45,84 ^e	14,77 ^{ab}	27,16 ^d (0,42)
	(2,03)	(0,14)	(0,69)	(1,76)	(1,22)	
6	54,14 ^{cd}	7,19 ^a	15,59 ^a	36,07 ^{bc}	15,78 ^{bc}	21,33 ^{bc} (0,38)
	(0,53)	(0,13)	(0,17)	(0,91)	(0,34)	
7	51,11 ^{ab}	7,72 ^{ab}	16,38 ^{ab}	38,47 ^c	16,67 ^{cd}	22,69 ^c (1,24)
	(0,09)	(0,07)	(0,25)	(0,87)	(0,34)	
8	51,24 ^{ab}	8,52 ^c	17,01 ^{bc}	36,27 ^{ab}	17,26 ^{de}	21,09 ^{bc} (1,19)
	(0,28)	(0,02)	(0,45)	(1,19)	(0,27)	
9	53,26 ^{bcd}	8,18 ^{bc}	17,63 ^c	35,44 ^a	17,27 ^{de}	19,07 ^a (1,13)
	(0,39)	(0,26)	(0,27)	(0,92)	(0,34)	
10	51,79 ^{bc}	8,49 ^c	17,23 ^{bc}	34,61 ^a	17,30 ^{de}	19,58 ^{ab} (1,21)
	(0,86)	(0,45)	(0,49)	(0,78)	(0,28)	

Los superíndices (a, b, c, d, ab, cd, bcd, bc, abc) muestran diferencias significativas en los valores obtenidos de L^* , a^* y b^* en la miga y en la corteza de las formulaciones de los panes sin gluten

El color es uno de los indicadores de calidad más relevantes para la aceptabilidad del producto en los alimentos, asimismo genera una gran importancia al momento de seleccionar un producto en los consumidores, es por ello la importancia de su análisis. De acuerdo a la

Tabla 18, los valores del análisis de colorimetría L*, a* y b* se evidenciaron diferencias significativas tanto en la miga como en la corteza.

Los valores de L* (claridad) de la miga según la Tabla 18, se encontraron entre 49.27 y 55.97, obteniéndose los mayores valores para la formulaciones 5 (40%AM, 24.18%HA, 35.82%HC) con L*=55.97, la formulación 1 (37.11%AM, 28.74%HA, 34.15%HC) con L*=55.59 y la formulación 3 (40%AM, 30% HA, 30%HC) con L*=54.4, cuyos valores de almidón de maíz de dichas formulaciones fueron mayores 40%, 37.11% , y 40% respectivamente a comparación de las cantidades de harina de arroz y harina de cañihua en cada una de ellas. Para el caso de la corteza los valores de L* presentaron valores entre 34.61 y 45.84, dichos valores se obtuvieron en la formulación 10 (35.65% AM, 20% HA, 44.35%HC) y formulación 5 (40% AM, 24.18% HA, 35.82% HC) respectivamente.

Zegarra *et al.* (2019) realizaron panes sin gluten con harina de cañihua, almidón de yuca y fécula de maíz, cuyos valores obtenidos de L*, a* y b* fueron 53.9, 3.98, 7.18 respectivamente, cuyos valores de Luminosidad se encuentra en el rango obtenido en los resultados. Los valores de L* obtenidos en la miga son mayores que los valores obtenidos en la corteza, lo cual es favorable ya que es más aceptable que la corteza tenga una luminosa menor que la miga. Como se esperaba, los panes con migas más blandas fueron los panes con mayor volumen específico.

Los valores de a* hacen referencia a la tendencia al color rojo (+) cuyos valores para la miga se obtuvieron entre 7.19 y 8.70 para la formulación 6 (35.49% AM, 24.28% HA, 40.23% HC) y la formulación 2 (30% AM, 20% HA, 50% HC) respectivamente. Para la corteza los valores de a* se obtuvieron entre 13.95 y 18.08 en la formulación 2 (30% AM, 20% HA, 50% HC) y la formulación 1(37.11%AM, 28.74%HA, 34.15% HC) respectivamente.

Los valores de b* hacen referencia a un color amarillento, cuyos valores para la miga se obtuvieron entre 15.59 y 17.72 formulación 6 (35.49% AM, 24.28%HA, 40.23% HC) y la formulación 4 (40 % AM, 20% HA, 40% HC). Para la corteza se obtuvo un rango de 16.58 y 27.16 cuyos valores corresponden a la formulación 10 (35.65% AM, 20% HA, 44.35% HC) y la formulación 5 (40%AM, 24.18% HA, 35.82% HC).

De acuerdo, la Tabla 18 los valores reportados de L^* , a^* y b^* se encontraron entre 34.61-37.91; 16.95-18.08; 16.58-27.16 respectivamente para la corteza. Los máximos valores de L^* fueron en la formulación 2 (30% AM, 20% HA, 50% HC) con $L^*=42.68$ y la formulación 5 (40% AM, 24.18 HA, 35.82% HC) con $L^*=45.84$, con diferencias significativas, Ordaz (2010) obtuvo un valor de $L^*=35.5$ para pan sin gluten con 40% de harina de cañihua, mientras que Sader (2018) obtuvo valores de $L^*=64.1$, $a^*=1.6$, $b^*=12.6$ para panes con mezclas proteicas.

Se observa que hay mayor diferencia significativa entre los valores de la miga a comparación que de la corteza, Gómez *et al.* (2011) añadieron que el color de la miga está relacionado con el color de las harinas, eso porque en las migas de los panes no se producen reacciones de Maillard debido a que la temperatura que alcanza en el interior del pan es menor a la temperatura que ocurren estas reacciones. Por ello, las diferencias de color en la miga entre los panes se deben fundamentalmente al color de los propios ingredientes (Gómez *et al.*, 2007).

Zegarra *et al.* (2019) señalaron que a mayor sustitución de harina de cañihua menor será la luminosidad de la miga; sin embargo, en la formulación con menor cantidad de cañihua, no se obtuvo el mayor valor de L^* , asimismo añade que la cantidad de almidón de maíz influye en gran medida para que el valor de luminosidad alta. En la formulación con mayor cantidad de almidón de maíz y menor cantidad de cañihua se obtuvo el máximo valor de luminosidad. La incorporación de aceite también afectó el color del pan, reduciendo la luminosidad y favoreciendo un tono más marrón en la corteza, especialmente al reducir el contenido en agua, lo cual es deseable en panes sin gluten que tienden a ser pálidos (Mancebo, 2016).

Mezaize *et al.* (2009) señalaron que el color es afectado principalmente por la interacción entre el hidrocoloide y las materias primas utilizadas, asimismo las reacciones de Maillard y caramelización que se generan durante la operación de horneado. Primero se produce la formación de la corteza generando la deshidratación de la capa exterior de la pieza de batido (Wagner *et al.*, 2007), luego se produce la reacción de Maillard, involucrando proteínas y azúcares, cuya intensidad determinará el color de la corteza (Feillet *et al.*, 2000).

4.3.2. VOLUMEN ESPECÍFICO, ESTRUCTURA DE MIGA Y LUMINOSIDAD

En la Tabla 19 se muestra los valores de las propiedades fisicoquímicas; como el volumen específico (ml/g), el número de alveólos por centímetro cuadrado y el valor de la luminosidad, para cada una de las formulaciones de la mezcla de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua.

Tabla 19: Valores de las variables respuesta del pan libre gluten

Mn	Almidón de maíz	Harina de Arroz	Harina de cañihua	Vol (mL/g)	Área promedio células (mm ²)	Nº alveolos /cm ²	L* (miga)
1	37.11	28.74	34.15	1,64 ^{bc} (0,08)	3,38 ^{de} (0,33)	98,18 ^d (0,85)	55,59 ^d (1,41)
2	30	20	50	1,53 ^a (0,04)	3,48 ^{def} (0,03)	81,84 ^{bc} (1,58)	49,27 ^a (1,24)
3	40	30	30	1,58 ^{abc} (0,06)	2,29 ^a (0,09)	116,58 ^e (1,91)	54,40 ^d (1,68)
4	40	20	40	1,59 ^{abc} (0,06)	3,8 ^f (0,08)	74,73 ^{ab} (3,75)	51,17 ^{ab} (1,26)
5	40	24.18	35.82	1,64 ^{bc} (0,03)	2,45 ^{ab} (0,08)	112,32 ^e (3,62)	54,65 ^d (2,03)
6	35.49	24.28	40.23	1,66 ^{bc} (0,04)	2,75 ^{bc} (0,13)	101,58 ^d (2,85)	54,14 ^{cd} (0,53)
7	30	30	40	1,51 ^a (0,05)	3,10 ^{cd} (0,20)	88,55 ^c (3,0)	51,11 ^{ab} (0,09)
8	30	24	46	1,56 ^{ab} (0,07)	2,80 ^{bc} (0,12)	101,84 ^d (5,14)	51,24 ^{ab} (0,28)
9	32.94	30	37.06	1,58 ^{abc} (0,03)	3,59 ^{ef} (0,24)	78,42 ^{ab} (4,94)	53,26 ^{bcd} (0,39)
10	35.65	20	44.35	1,68 ^c (0,05)	3,60 ^{ef} (0,20)	72,13 ^a (0,62)	51,79 ^{bc} (0,86)

Los superíndices (a, b, c, ab, bc, abc) muestran diferencias significativas entre los valores obtenidos de volumen específico, área promedio de células, número de alveolos/ cm², L* de la miga de las 10 formulaciones

En la Tabla 20 se muestra el modelo predictivo que detalla el efecto del almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua para cada variable respuesta, que describieron mejores ecuaciones de los modelos sobre las propiedades fisicoquímicas del pan sin gluten.

Tabla 20: Ecuaciones obtenidas que muestran el comportamiento del almidón de maíz (A), harina de arroz (B) y harina de cañihua (C) sobre las variables respuesta

Variable respuesta	Ecuaciones
Volumen específico (mL/g)	$P1^*=1,06*A+1,19*B+1,53*C+1,80*AB+1,24*AC+0,5702*BC$
Dureza (N)	$P2^*=36,62*A-0,6729*B+12,72*C-37,23*AB-31,27*AC+33,92*BC$
Luminosidad	$P3^*=42,09*A+40,03*B+49,10*C+54,60*AB+22,87*AC+25,90*BC$
Densidad alveolar (n° de alveolos/cm²)	$P4^*=161,90*A-81,69*B+83,13*C+294,03*AB-180,97*AC+333,75*BC$

De acuerdo a la Tabla 20 las variables respuesta volumen específico (P1*), dureza (P2*), la luminosidad (P3*), el número de alveolos por centímetro cuadrado (P4*) siguen un modelo polinomial en el cual la mezcla del almidón de maíz (A), la harina de cañihua (C) y la harina de arroz (B) afectan de forma directa en dichas variables. Existen principalmente cuatro procesos que ocurren durante la cocción; la formación de la miga y corteza, expansión durante la cocción (ovenspring) y el transporte de calor en el interior del pan (Rojas *et. al.*, 2000; Wagner *et. al.*, 2007). La transformación de batido en miga es una consecuencia, no sólo de la gelatinización del almidón, sino también del tipo de harina y proceso utilizado (Crowley *et al.*, 2002), factores que afectan al volumen específico, dureza, luminosidad y número de alveolos del pan.

En la Tabla 21 se muestra los valores del análisis de varianza y ajuste del modelo matemático seleccionado para explicar los comportamientos cuadráticos de las propiedades fisicoquímicas de las 10 formulaciones libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua.

Tabla 21: Valores del método estadístico (ANOVA) y ajuste del modelo estadístico sobre las variables respuesta en el pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua

Variable respuesta	ANOVA						Ajuste de modelo				
	Modelo	F-value	AB	BC	AC	p-value	Lack of Fit (p-value)	R ²	R ² ajustado	R ² predicho	Adeq Precision
Volumen específico (mL/g)	Polinomial	14,73	0,0054	" "	0,0045	<0,0001	0,0111	0,9485	0,8841	0,6012	11,5156
Dureza (N)	Polinomial	8,04	0,0051	0,0031	0,0047	<0,0001	0,0326	0,9095	0,7964	0,5381	8,7528
Luminosidad	Polinomial	48,35	0,0013	0,0047	0,0066	<0,0001	0,0011	0,9837	0,9634	0,8668	20,172
Densidad alveolar (n° de alveólos/cm²)	Polinomial	16,67	0,0289	0,0049	0,0348	<0,0001	0,0088	0,9542	0,897	0,6223	11,4689

Los resultados obtenidos de las variables respuesta se ajustaron a un modelo polinomial.

A. VOLUMEN ESPECÍFICO EN EL PAN SIN GLUTEN

En la Tabla 19 se muestra los valores de volumen específico varía entre 1.51-1.68 cm³/g. En el cual no hay diferencia significativa en la formulación 1 (37.11% AM, 28.74% y 34.15% HC), formulación 5 (40%AM, 24.18% HA y 35.82% HC) y formulación 6 (35.49% AM, 24.28% HA y 40.23% HC) con valores de 1.64,1.64 y 1.66 cm³/g respectivamente de volumen específico, el mayor valor se obtuvo en la formulación 10 (35.65%AM, 20%HA y 44.35% HC) con un valor de 1.68 cm³/g, en todas las formulaciones mencionada tienen bajos valores de harina de arroz. En la Figura 23 se muestra el diseño gráfico del comportamiento del volumen específico. Asimismo en el ANEXO 3 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones del volumen específico.

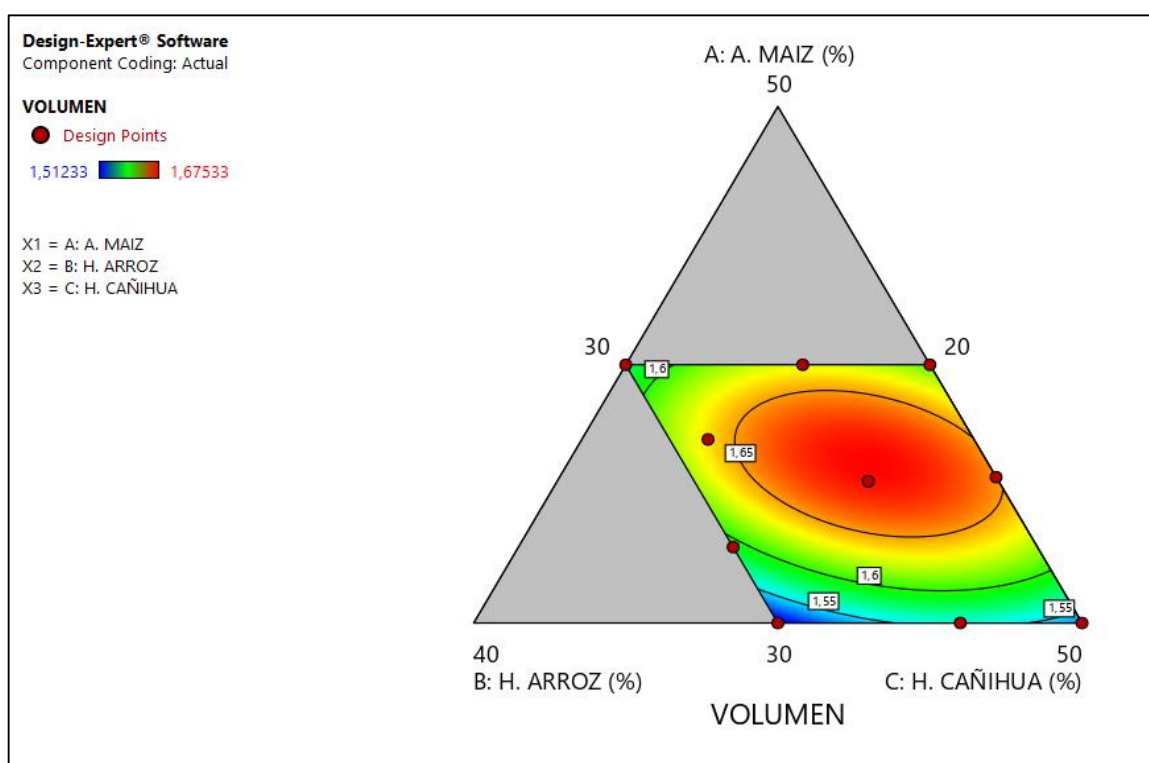


Figura 23: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz en el volumen específico (cm³/g)

El mayor valor de acuerdo a la Figura 23 fue de 1,68 mL /g, al respecto Pongjaruvat *et al.* (2014) y Zhang *et al.* (2014) reportaron valores entre 1,6 - 3,75 cm³ /g para panes sin gluten. Los valores obtenidos se encuentra dentro del rango establecido por Martínez *et al.* (2015) en el cual obtuvieron valores de 0.83-3.27 cm³/g para pan sin gluten de almidon de maiz, almidon de yuca modificado, aislado proteico de proteína de soya y harina de arroz,

asimismo Muñoz *et al.* (2019) obtuvieron valores de 0.32 – 3.65 cm³/g para panes sin gluten a base de harina de cañihua y almidón de maíz. Sin embargo, Repo-Carrasco *et al.* (2020) obtuvieron valores de 2,73 ± 0,0 (mL/g) para panes libre de gluten de cañihua, mientras que Martínez *et al.* (2015) obtuvieron valores de 0.83-3.27 cm³/g para pan sin gluten de almidón de maíz, almidón de yuca modificado, aislado proteico de proteína de soya y harina de arroz. La diferencia de volúmenes específicos se debe a las diferentes cantidades de las harinas en la formulación, sin embargo, hay otros factores que también influyen Chen *et al.* (1988) mencionaron que la diferencia de volúmenes específicos puede deberse al tiempo de horneado, asimismo Zanoni & Peri (1993) señalaron que a mayor tiempo de horneado mayor será el volumen específico y está directamente relacionada con el aumento de altura. También, el volumen depende principalmente del tiempo de fermentación, cantidad de levadura y las condiciones del proceso (Lorenz & Coulter, 1991). Torres *et al.* (2015) quienes encontraron que el contenido de amilosa tiene efecto positivo sobre el volumen específico y sobre la evaluación sensorial del pan.

Álvarez *et al.* (2009) añadieron que el volumen del pan depende de múltiples factores, como la viscosidad de los batidos, la relación amilosa/amilopectina, la presencia de compuestos surfactantes, la agregación de proteínas durante el horneado. Así mismo la goma xantana es un hidrocoloide polisacárido que tiene excelentes propiedades reológicas de interés para su uso en alimentos, ayudan a la retención de gas y el aumento de volumen específico de productos de panadería sin gluten (Turabi *et al.* 2008). Mancebo (2016) señaló que el aceite aumentó el volumen específico del pan, asimismo a su vez, observó como el volumen específico del pan aumentó a medida que se aumentaba el contenido en agua en aquellos panes con bajo contenido en grasa.

En la Figura 24 se muestra las imágenes obtenidas se muestra las imágenes representativas en 3D de las diez formulaciones de los panes sin gluten a base de harina de cañihua, harina de arroz y almidón de maíz, por la topografía tipo láser, en el cual se observa a simple vista que la formulación 10 (35.65%AM, 20%HA y 44.35% HC) es la más grande y la formulación 7 (30%AM, 30%HA y 40% HC) es la más pequeña.

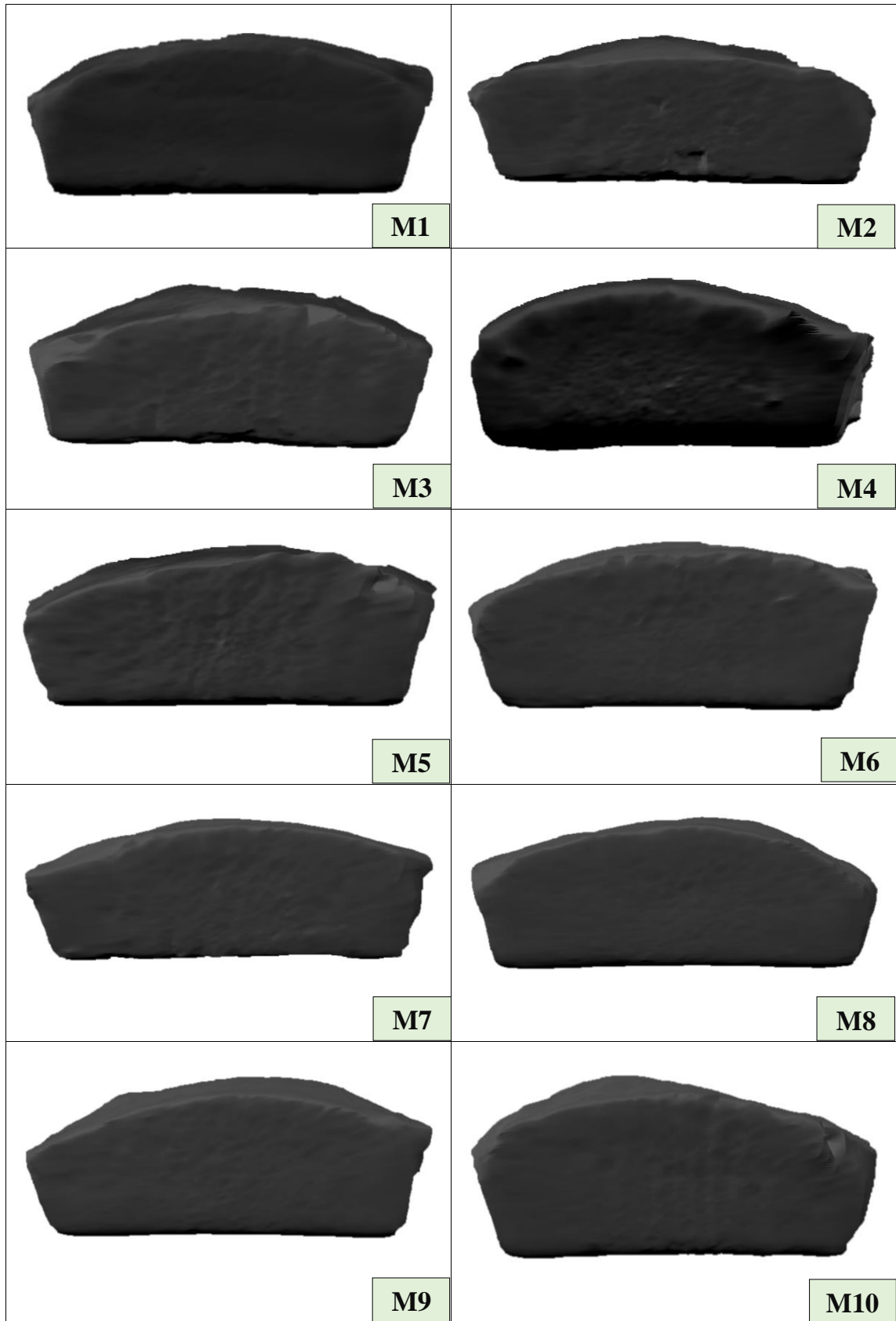


Figura 24: Imágenes representativas 3D en las diez formulaciones

El empleo de CMC y goma xanthan resulta favorable en panes libres de gluten debido a que refuerza la capacidad de atrapar agua, en un pan de trigo el gluten forma barreras que permite atrapar CO₂ generados durante la fermentación. Los panes sin gluten al carecer de proteínas capaces de atrapar CO₂ es necesario incrementar el contenido de estas para que el CO₂ no se escape durante el horneado y por otro lado permita atrapar agua por parte de las gomas y por lo tanto se aumente el volumen del pan (Ordaz, 2010).

En el pan sin gluten la presencia de fisuras es un indicador de bajo volumen específico, ya que formará una red que no contendrá el dióxido de carbono generado en la fermentación (Onyango *et al.*, 2011; López *et al.*, 2012). Martínez *et al.* (2015) reportaron valores máximos de volumen específico y altura en el cual se presentó en panes con 85% de agua y 2% de CMC, asimismo la retención de gas en el interior de la matriz del alimento se da por la formación de barreras, que se originan por la interacción entre los derivados de celulosa (Onyango *et al.*, 2009). Dicha estructura formada servirá para aumentar la viscosidad y fortalecer los límites de los alveolos en expansión, lo cual facilitará la retención de gas, durante el horneado y ocasionará un aumento en el volumen (López *et al.*, 2012).

B. NÚMERO ALVEOLAR EN EL PAN SIN GLUTEN

En la Tabla 19 se muestra los valores de número de células/cm² en el cual se obtuvo un rango de 65.78-106.32 células/cm². Los valores máximos obtenidos no tuvieron diferencia significativa entre la formulación 5 (40%AM, 24,18%HA, 35,82%HC) y la formulación 3 (40%AM, 30%HA, 30%HC) con valores de 102.44 y 106.32 células/cm² respectivamente. Ambas formulaciones tienen alto contenido de almidón de maíz y bajo contenido de harina de arroz. Asimismo, los menores valores fueron en la formulación 10 (35.65%AM, 20%HA, 44.35%HC) con 65.784 alveólos/cm² y en la formulación 4 (40%AM, 20%HA, 40%HC) con 68.16 alveólos/cm². En la Figura 25 se muestra el diseño gráfico del número de alveólos por centímetro cuadrado de las diez formulaciones a base de harina de cañihua, harina de arroz y almidón de maíz de acuerdo al software Desing-Expert.

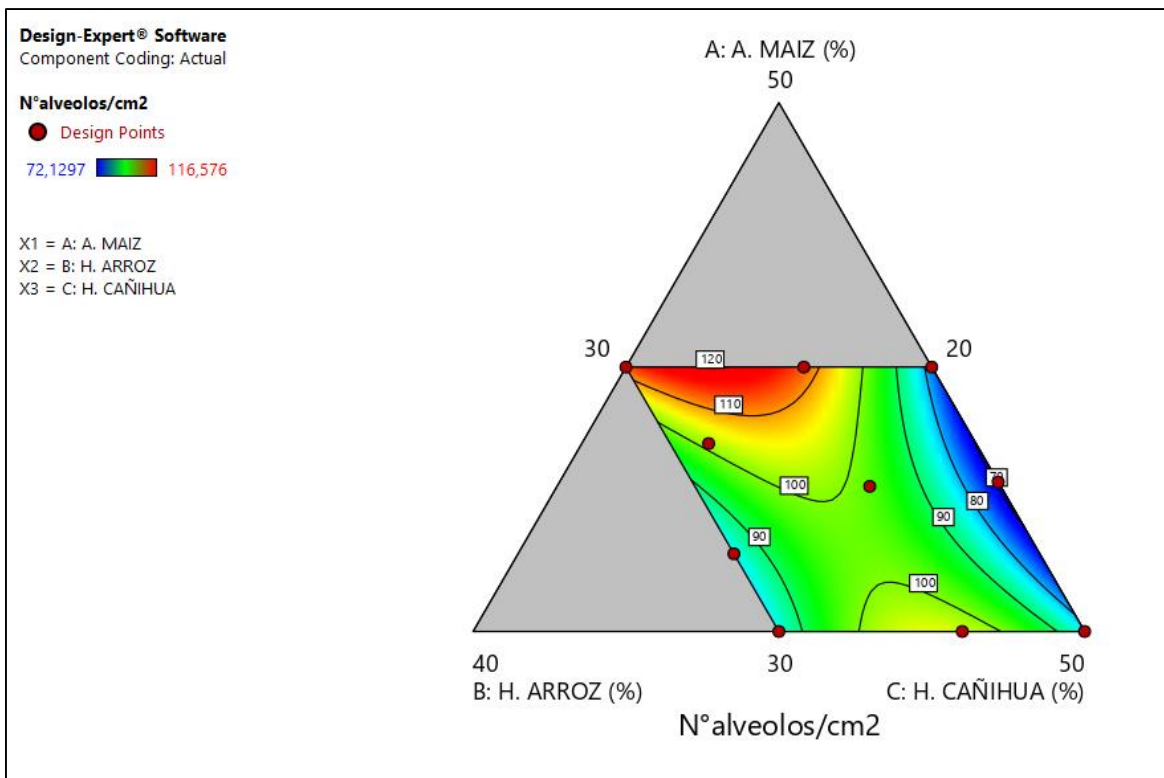


Figura 25: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz sobre la densidad alveolar (n° células/cm²)

Debido a que el tipo de pan condiciona las densidades alveolares deseadas (en pan de molde se busca una densidad alveolar menor), se realizó la optimización al minimizar la densidad alveolar generando un pan óptimo con 98 g/100 g de harina de arroz y 2 g/100 g de almidón de trigo (Mancebo, 2016).

Ordaz (2010) obtuvo valores de 28 -70 alveolos /cm² para panes sin gluten. Sin embargo, Sciarini (2012) obtuvo valores mayores de 111 y 102 alveolos /cm² para panes sin gluten con goma xántica y CMC respectivamente. Los resultados obtenidos se encuentran dentro de los valores propuestos por ambos autores.

Sciarini (2012) añadió que los panes libres de gluten en general poseen paredes alveolares muy gruesas, una estructura densa e irregular, que resulta de la dificultad para incorporar gases durante el batido y/o retener el CO₂ formado durante la fermentación, causado por la ausencia de una red viscoelástica.

El proceso importante, la capacidad de retención de aire en esas burbujas, debido a la producción de CO₂ durante el proceso de fermentación determinará luego el volumen final y formación de alveolos del producto terminado (Dobraszczyk & Morgenstern, 2003; Wagner *et. al*, 2007) tiempo y velocidad de agitación afectan el volumen final y formación de alveolos. La densidad alveolar aumentó con el contenido en agua, viéndose incrementado este efecto con mayores contenidos de aceite, es decir, con una consistencia menor (Mancebo, 2016).

Los panes que contienen goma xantano poseen una estructura más esponjosa que aquella que contiene CMC, sin embargo aquella que tiene CMC presentan una buena estructura aunque más densa que la de los panes con goma xantano por presentar numerosos alvéolos pequeños (Sciarini, 2012).

Se ha reportado que el uso de hidrocoloides como la goma xántica y la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) en panes libres de gluten produce la formación de una estructura en red similar a la estructura de la miga de panes con trigo (Ahlborn *et.al.*, 2005), aunque esto dependerá también de las materias primas que se utilicen.

Las barreras compuestas por la metilcelulosa (MC), la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) o la carboximetilcelulosa (CMC) durante el horneado generan el aumento de la viscosidad del batido y fortalecen los límites de las burbujas de aire en expansión favoreciendo la retención de gas y, por ende, incrementando el volumen de los panes y mejorando la estructura alveolar (Bell, 1990).

En la Figura 26 se muestra las imágenes del alveolado de las migas de las partes centrales de las diez formulaciones de los panes sin gluten, en el cual se tomó en cuenta la imagen alveolar con valor intermedio del número de alveolos/cm² promedio para las repeticiones de cada una de las diez formulaciones. Asimismo en el ANEXO 3 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones del número de alveolos en el pan sin gluten de acuerdo al software Desing-Expert.

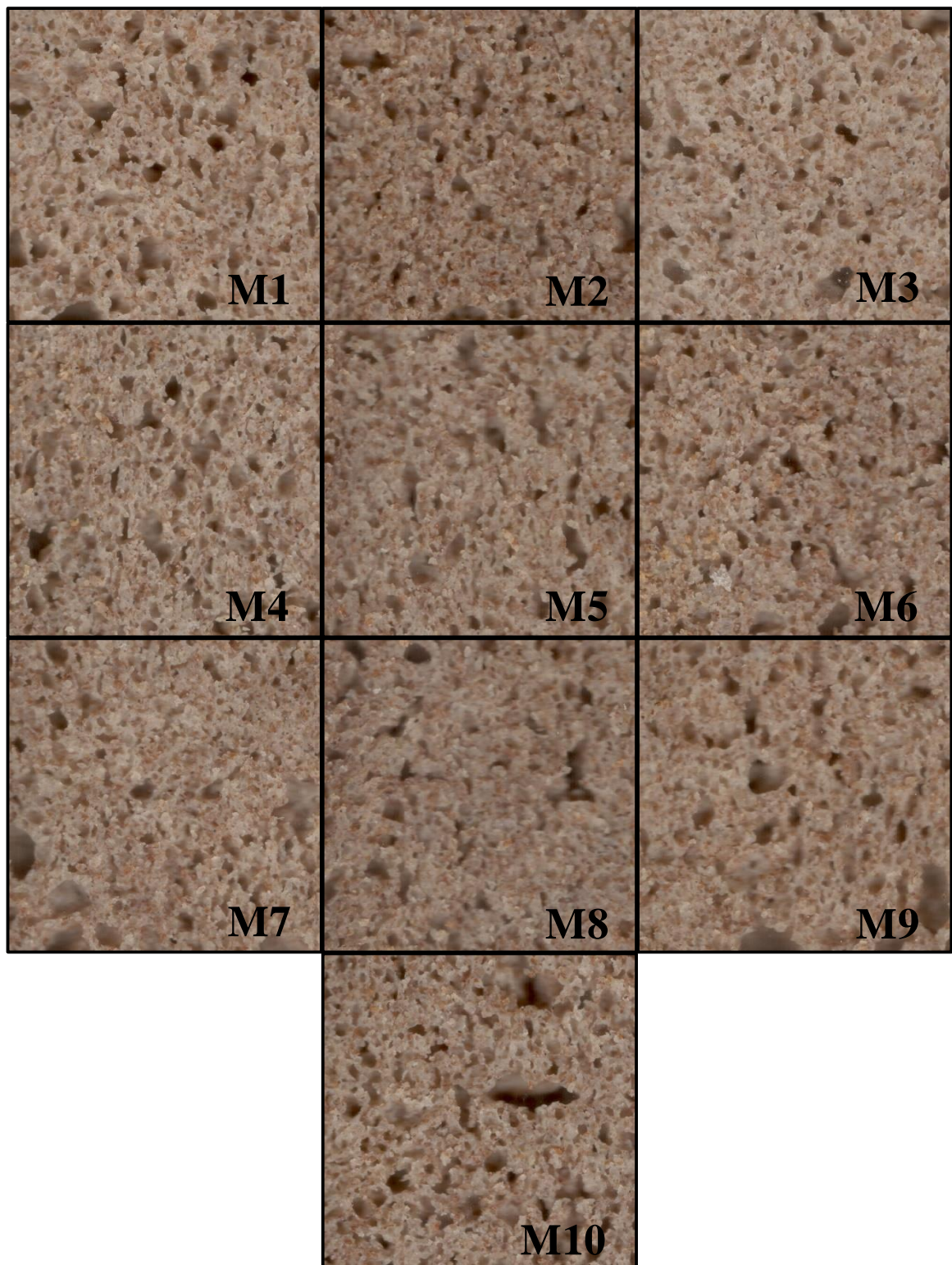


Figura 26: Imágenes del alveolado de la miga de las 10 formulaciones (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10) en el pan sin gluten elaborado a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua

C. LUMINOSIDAD EN EL PAN SIN GLUTEN

En la Tabla 19 se muestra los valores de luminosidad en el cual se obtuvo un rango de 49.27-5559. Los valores máximos obtenidos no tuvieron diferencia significativa fueron la formulación 3 (40%AM, 30%HA, 30%HC), formulación 5 (40%AM, 24.18%HA, 35.82%HC) y formulación 1 (37.11%AM, 28.74%HA, 34.15%HC) con 54.40, 54.65 y 55.59 respectivamente. En todas las formulaciones mencionadas el almidón de maíz se encuentra en mayor proporción. En la Figura 27 se muestra el diseño gráfico de la luminosidad de acuerdo al software Desing-Expert. Asimismo en el ANEXO 3 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones de la luminosidad.

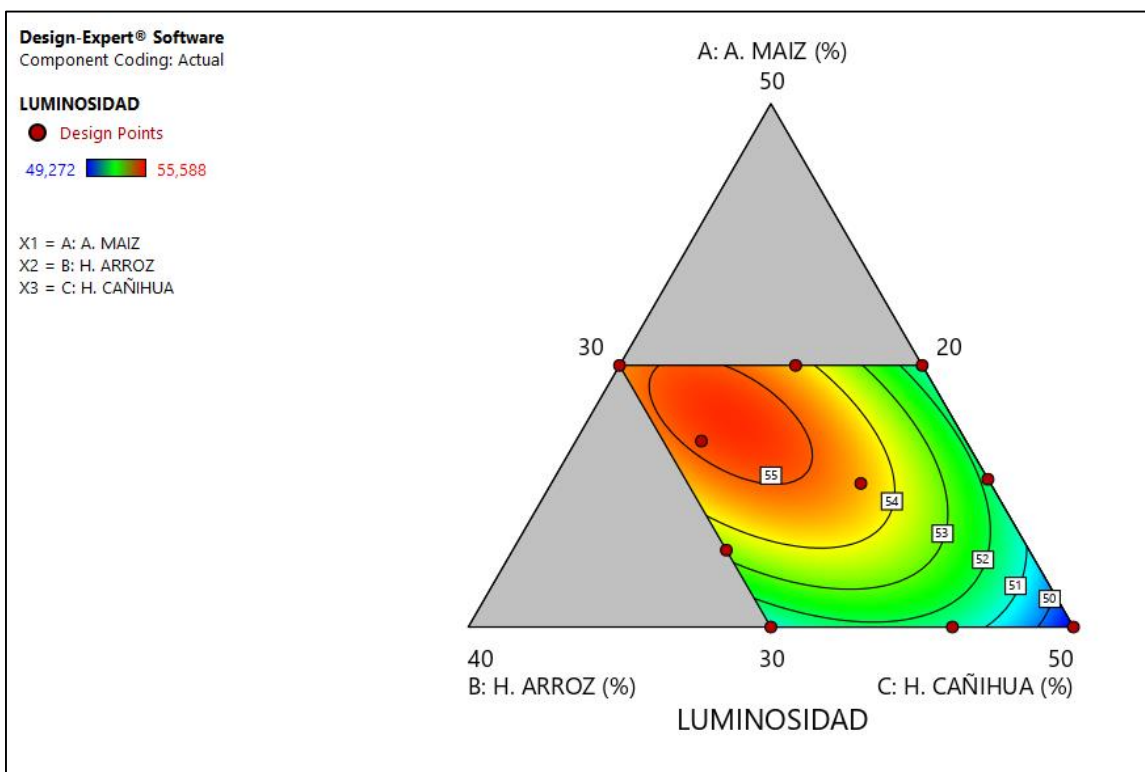


Figura 27: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz sobre la luminosidad de la miga del pan sin gluten

Según la Figura 27, el modelo más aceptado es la distribución cuadrática, con mayor predominancia de la zona de color rojo con cantidades mayores de almidón de maíz y la zona de color azul con los valores más bajo aquellos que tienen harina de cañihua, como la formulación 2 (30%AM, 20%HA, 50%HC) que tiene el máximo valor de harina de cañihua.

Aurica (2015) obtuvo valores de 58.56 ± 1.95 con goma xantana, 66.68 ± 0.94 con HPMC y 67.52 ± 1.23 con goma guar para pan sin gluten a base de harina de maíz, los valores obtenidos fueron menores a los mencionados en el cual se utilizó una mezcla de goma xantana y CMC (carboximetilcelulosa).

4.3.3. PROPIEDADES TEXTURALES DEL PAN LIBRE DE GLUTEN

Mediante el análisis del perfil de textura (TPA) realizado a los panes se obtuvo la siguiente Tabla 22, en el que se observan los análisis estadísticos sobre los valores de dureza, masticabilidad, cohesividad y elasticidad sobre la miga de las 10 formulaciones.

Tabla 22: Valores medios de las propiedades texturales del pan a base de almidón de maíz (AM), harina de arroz (HA) y harina de cañihua (HC)

Formulación	Propiedades texturales de panes			
	Dureza (N)	Masticabilidad (N)	Cohesividad	Elasticidad
1	11,86 ^{bc} (0,54)	5,33 ^{ab} (0,00)	0,56 ^c (0,03)	0,90 ^b (0,00)
2	12,71 ^{bcd} (1,26)	6,74 ^{cd} (0,37)	0,50 ^b (0,01)	0,89 ^{ab} (0,01)
3	8,45 ^a (0,88)	4,42 ^a (0,47)	0,59 ^c (0,02)	0,90 ^b (0,01)
4	17,69 ^f (1,24)	7,37 ^d (0,59)	0,47 ^{ab} (0,02)	0,88 ^a (0,01)
5	14,34 ^{cde} (0,93)	6,44 ^{cd} (0,28)	0,48 ^b (0,01)	0,88 ^{ab} (0,01)
6	13,73 ^{cde} (1,47)	6,91 ^{cd} (0,71)	0,50 ^b (0,00)	0,89 ^{ab} (0,00)
7	14,65 ^{de} (1,70)	6,11 ^{bc} (0,58)	0,47 ^{ab} (0,01)	0,89 ^{ab} (0,01)
8	15,68 ^{ef} (1,20)	6,64 ^{ab} (0,01)	0,44 ^a (0,00)	0,89 ^{ab} (0,01)
9	10,20 ^{ab} (1,10)	5,30 ^{ab} (0,42)	0,59 ^c (0,02)	0,90 ^b (0,01)
10	12,51 ^{bcd} (0,33)	6,00 ^{bc} (0,00)	0,57 ^c (0,00)	0,89 ^{ab} (0,00)

Los superíndices (a, b, c, d, bc, bcd, f, cde, de, ef, ab) muestran las diferencias significativas de los valores obtenidos de la dureza, masticabilidad, cohesividad y elasticidad de las 10 formulaciones

En la Tabla 23 se muestran las ecuaciones obtenidas de la mezcla del almidón de maíz (A), harina de arroz (B) y harina de cañihua (C) con variables respuesta Dureza (N), Masticabilidad (N), Cohesividad y Elasticidad realizado con el software Desing Expert.

Tabla 23: Ecuaciones predichas sobre el comportamiento de la textura en el pan sin gluten

Variable respuesta	Ecuación
Dureza (N)	$P2^* = 36,62 * A - 0,6729 * B + 12,72 * C - 37,23 * AB - 31,27 * AC + 33,92 * BC$
Masticabilidad (N)	$P10 = 10,30 * A + 0,4141 * B + 6,46 * C - 3,46 * AB - 5,09 * AC + 10,54 * BC$
Cohesividad	$P11 = -0,0919 * A + 0,9607 * B + 0,5029 * C + 0,5961 * AB + 1,11 * AC - 1,01 * BC$
Elasticidad	$P12 = 0,8011 * A + 0,9294 * B + 0,8895 * C + 0,1348 * AB + 0,1217 * AC - 0,0730 * BC$

El análisis TPA es un método objetivo, correlacionado con el análisis sensorial de la textura, el ensayo comprende la compresión de la miga del pan dos veces seguidas, imitando el proceso de masticación, en este análisis un accesorio comprime y durante dos veces consecutivas una muestra para simular el movimiento de la mandíbula durante la masticación, la muestra se sitúa en la base y se comprime y descomprime dos veces mediante una pletina adjuntada al sistema de movimiento (Cajas, 2018). En la Tabla 24 se muestra el análisis de varianza en las 10 formulaciones de los panes sin gluten, los valores estadísticos del ANOVA y del ajuste del modelo estadístico.

Tabla 24: Valores del método estadístico (ANOVA) y ajuste del modelo estadístico en la textura del pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua

Variable respuesta	ANOVA						Ajuste de modelo				
	Modelo	F-value	AB	BC	AC	p-value	Lack of Fit (p-value)	R ²	R ² ajustado	R ² predicho	Adeq Precision
Dureza (N)	Polinomial	8,04	0,0051	0,0031	0,0047	<0,0001	0,0326	0,9095	0,7964	0,5381	8,7528
Masticabilidad (N)	Polinomial	6,64	0,0032	0,0087	0,0033	<0,0001	0,0453	0,8924	0,7579	0,539	7,7058
Cohesividad	Polinomial	12,05	" "	0,0132	0,0086	<0,0001	0,0159	0,9378	0,86	0,6627	9,5759
Elasticidad	Polinomial	15,74	0,0051	0,0052	0,0037	<0,0001	0,0097	0,9516	0,8912	0,6081	11,6564

Las variables respuesta se ajustaron a un modelo polinomial, con R² cercanos a 1.

A. DUREZA EN EL PAN SIN GLUTEN

Se refiere a la fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar (González *et al.*, 2015). En la Figura 25 se observa la interacción del almidón de maíz (A), harina de arroz (B) y harina de cañihua (C) con la variable dureza en las 10 formulaciones obtenidas, obtenido por el software Design-Expert. En la Figura 28 se muestra el diseño gráfico de la dureza de acuerdo al software Design-Expert. Asimismo en el ANEXO 4 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones de la dureza.

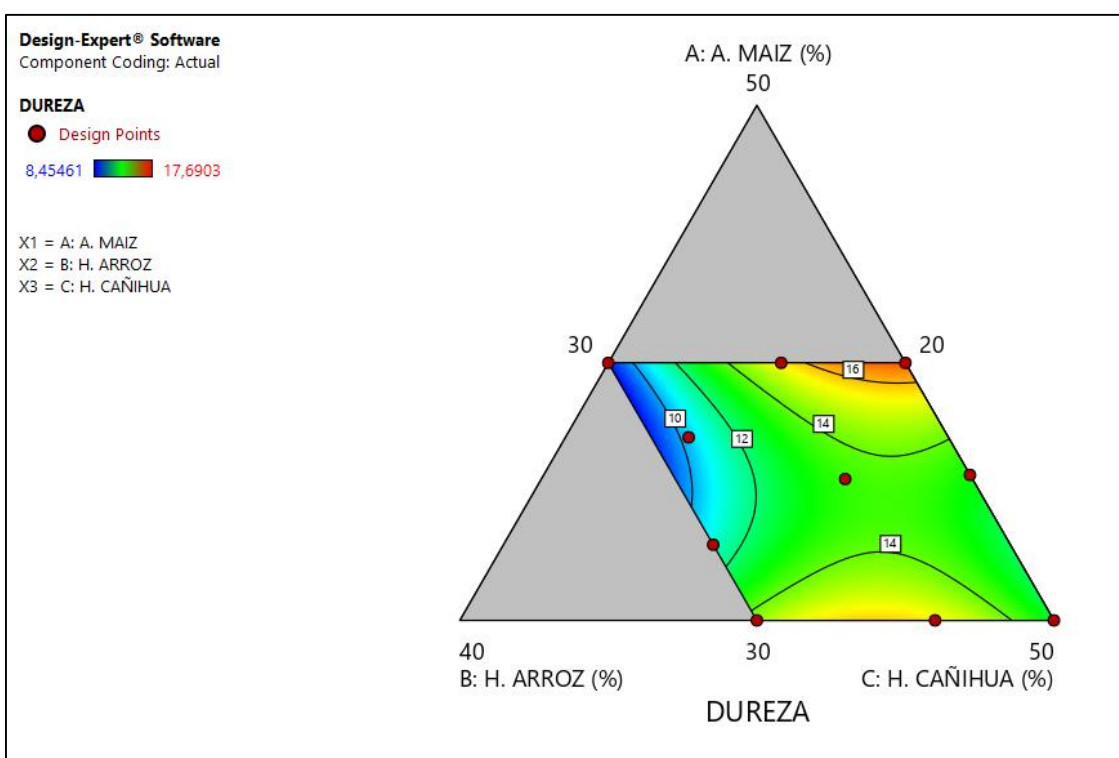


Figura 28: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz sobre la dureza de la miga del pan sin gluten

Los valores de dureza se obtuvieron entre 8.45-17.69 N, correspondiente a la formulación 3 (40% AM, 30% HA, 30% HC) y formulación 4 (40% AM, 20% HA, 40% HC) respectivamente. Muñoz *et al.* (2019) obtuvieron valores de 4.99 -22 N para panes sin gluten a base de harina de cañihua. Los valores obtenidos en la investigación se encuentran dentro del rango mencionado. Sin embargo, otros autores mencionan valores tanto inferiores y superiores como; Ordaz (2010) obtuvo valores superiores a 7.5 N y valores inferiores a 19.93 N en el desarrollo de pan sin gluten con harina de arroz, mientras que Rivera (2014) obtuvo un valor de 12.25 N para pan de almidón de maíz y 7.1 N para pan

de harina de arroz. Mientras que Aurica (2015) obtuvo 8.23-9.96 N para panes sin gluten con goma xantana y con HPMC respectivamente.

Martínez *et al.* (2015) indicaron valores de 11.36 – 31.6 N para pan sin gluten de almidón de maíz, almidón de yuca modificado, aislado proteico de proteína de soya y harina de arroz. Muñoz *et al.* (2019) obtuvieron valores de 10.39-46 N para panes sin gluten a base de harina de cañihua. Repo-Carrasco *et al.* (2020) reportaron valores de 1.59 ± 0.02 N para panes libre de gluten de cañihua.

Según los resultados obtenidos los valores de dureza fueron superiores a los valores de elasticidad, lo cual limita la posibilidad de migas esponjosas (Mancebo *et al.*, 2015). La incorporación de hidrocoloides mejora notablemente ese problema, si bien el envejecimiento del pan se presenta, este proceso se ve retardado como se observó al paso de los días los panes a los que les fueron incorporados gomas todos presentan una menor dureza en comparación con la formula base o el pan de arroz (Gallagher *et al.*, 2003).

En las formulaciones se obtuvo valores de dureza más altos a comparación de los panes a base de harina de trigo utilizados comúnmente (Gallagher *et al.*, 2004). La dureza es un parámetro determinante sobre el pan, y más aún en los panes sin gluten, ya que en este tipo de panes no se emplea harina de trigo se genera el fenómeno del “envejecimiento del pan” más rápido debido a una más rápida retrogradación del almidón. (Badui, 1997., Gallagher *et al.*, 2003).

Ordaz (2010) mencionó que cuando se elabora un pan con harina de arroz, este tiende a ser de una corteza quebradiza, la miga suele ser compacta panes poco apetecibles de ahí que es necesario necesaria la combinación con otras semillas u otros granos que no contengan prolaminas tóxicas para los celíacos y con alto valor nutricional, sobre todo de proteína; por ello, la incorporación de harina de cañihua cumple un papel importante en el aspecto nutricional como también en la dureza. Estos resultados concuerdan con Mezaize *et al.* (2009) quienes atribuyeron este resultado a la alta absorción de agua de estas proteínas que lleva a la formación de migas más densas.

De acuerdo a la Figura 28, se obtiene a mayor contenido de arroz hay menor dureza. Aurica (2015) obtuvo una menor dureza de miga con la formulación que incluye arroz y

maíz con un 20% de incorporación de soja. El desarrollo de la dureza de la miga con el tiempo es un fenómeno en el que influyen diversos factores (Lascano, 2010). Gray & Bemiller (2003) mencionaron que los mecanismos que más afectan son; la pérdida de humedad de la miga y la recristalización de la amilopectina (asociaciones entre las cadenas).

Aurica (2015) mencionó que los hidrocoloides se añaden a productos horneados para aumentar la humedad de las migas y su suavidad, además ayudan a rebajar valores de dureza; sin embargo, Hager *et al.* (2012) observaron que la dureza de la miga aumentó después de la adición. Asimismo, la pérdida de humedad de la miga junto con las interacciones almidón-almidón que se establecen con el tiempo son dos factores que también influyen en el valor de la dureza (Aurica, 2015).

Peressini *et al.* (2011) sugirieron que es el aumento en el VE provocado por la alta concentración de proteínas el que lleva a migas con menor dureza, más que un efecto directo de las proteínas por la dureza. Sin embargo, Hager *et al.* (2012) demostraron que cuando el VE disminuye, la dureza inicial de la miga aumenta, esto es explicado por la mayor cantidad de enlaces e interacciones que se producen entre las moléculas quedando así empacadas más densamente. Como se puede observar en la Tabla 22, en los valores donde se tiene mayor dureza se tiene menor volumen específico.

B. MASTICABILIDAD EN EL PAN SIN GLUTEN

Es la medida de la energía requerida para masticar un sólido y desintegrarlo hasta que se pueda tragar (González *et al.*, 2015). Alva (2013) indicó que la masticabilidad es una propiedad mecánica de la textura relacionada con la cohesión y con el tiempo necesario o el número de masticaciones requeridas para dejar un producto sólido en las condiciones necesarias para su deglución. En la Tabla 22 se muestra los resultados obtenidos, en el cual los valores de masticabilidad varían entre 4.424-7.371 N, en la formulación 3 (40%AM, 30%HA, 30%HC) y la formulación 4 (40%AM, 20%HA, 40%HC) respectivamente. Aurica (2015) obtuvo valores de 5.27-5.97 N de masticabilidad para panes sin gluten con goma xantana y con HPMC respectivamente, mientras que Cajas (2018) obtuvo valores de 3-4.89 N para panes óptimos sin gluten, ambos autores mencionaron valores que se encuentran cercano a lo obtenido en la investigación.

Sin embargo, otros autores obtuvieron valores más bajos como Repo-Carrasco *et al.* (2020) quienes obtuvieron 0.45-0.80 N para panes sin gluten a base de quinua, kiwicha y cañihua, Encina *et al.* (2018) quienes obtuvieron 1.25-3.47 N y Vidaurre (2020) quien obtuvo 0.8 N para sus panes sin gluten óptimos a base de harina de quinua, almidón de papa y harina de tarwi y 1.63 N para sus panes a base de harina de kiwicha, almidón de papa y harina de tarwi respectivamente.

Lezama (2015) mencionó que la sustitución de parte del trigo por harina de arroz y de salvado de arroz, interfiere en la formación de la red viscoelástica lo que hace del pan con salvado de arroz un pan más duro, cohesivo, de mayor masticabilidad y menor elasticidad respecto al pan 100%trigo, por los valores de dichos parámetros son similares para panes sin gluten cuando hay una mayor sustitución de la harina de trigo, ya que el gluten es la principal responsable de las características reológicas (Muñoz *et al.*, 2019).

González *et al.*, (2015) concluyeron que la medición de la masticabilidad es directamente proporcional a la elasticidad; asimismo los panes de las diferentes variedades resultaron con valores bajos de elasticidad lo que se traduce en obtener panes con baja masticabilidad es decir que tuvieron baja gomosis y son fracturables. Sin embargo, los valores obtenidos en la Tabla 22 no se encontró una relación directamente proporcional entre la masticabilidad y la elasticidad.

Rivera (2014) señaló que la masticabilidad (energía necesaria para masticar un alimento) resultó más alta en los panes de harina de maíz, derivado de su dureza, asimismo obtuvo un menor valor de masticabilidad en los panes de harina de arroz y el pan de la mezcla de almidón de maíz y harina de arroz. Guarda *et al.* (2004) observaron que cuando se incrementa la cantidad de harina de quinua en la formulación aumenta la dureza de la miga y la masticabilidad, por lo tanto, se puede decir que, actúa de forma similar la harina de cañihua. La masticabilidad está directamente relacionada con la dureza; por lo tanto, panes con mayor volumen tendrán unos valores de dureza y/o de masticabilidad menores (Aurica, 2015). La dureza y la masticabilidad de la miga disminuyó dependiendo del nivel de almidón modificado agregado (Ziobro *et al.*, 2016). En la Figura 29 se muestra los puntos de la masticabilidad en las 10 formulaciones. Asimismo en el ANEXO 4 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones de la masticabilidad.

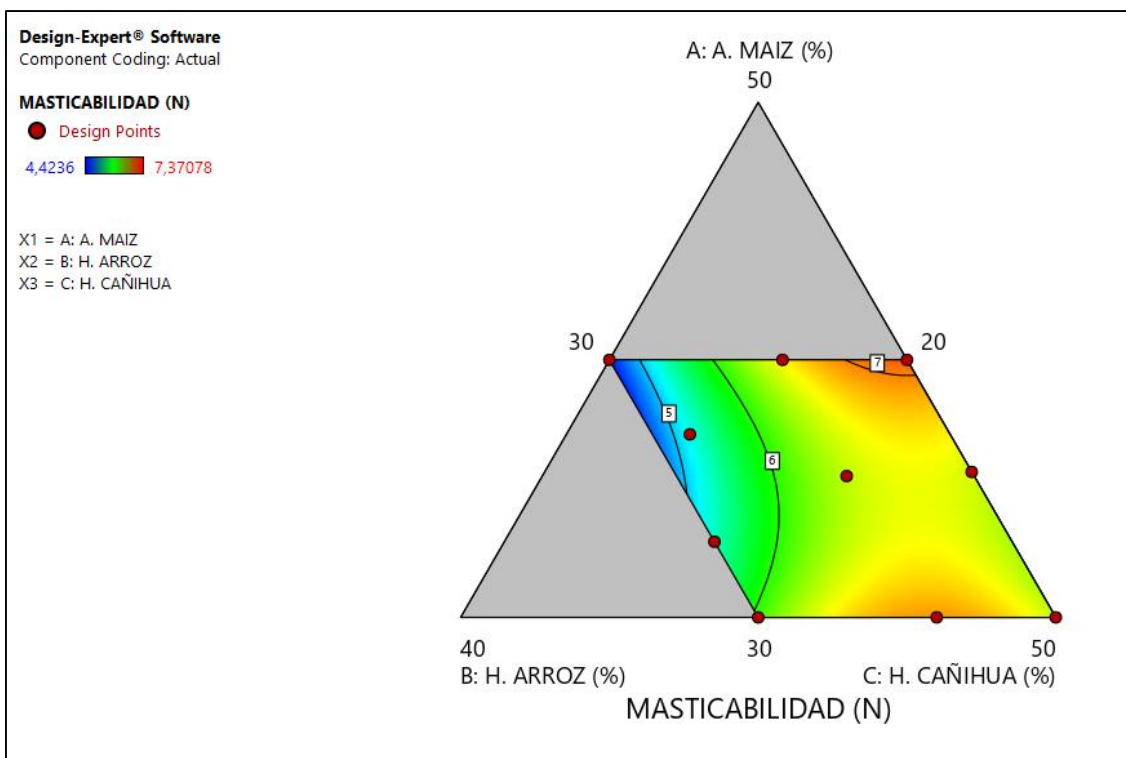


Figura 29: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz sobre la masticabilidad de la miga del pan sin gluten

C. COHESIVIDAD EN EL PAN SIN GLUTEN

Indica la habilidad de soportar rotura bajo compresión, representa la fuerza con la que están unidas las partículas (González *et al.*, 2015). En la Figura 30 se muestra los puntos de la cohesividad en las 10 formulaciones obtenidas por el software Design -Expert. Asimismo en el ANEXO 4 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones de la cohesividad.

El valor mínimo de cohesividad fue 0.44 en la formulación 8 (30%AM, 24%HA, 46%HC) y el máximo valor fue 0.59 en la formulación 3 (40%AM, 30%HA, 30%HC) y la formulación 9 (32.94% AM, 30 HA, 37.06% HC). Diversos autores obtuvieron valores cercanos a los resultados de la investigación, como Rivera (2014) quien obtuvo valores de 0.5605 de cohesividad para pan de almidón de maíz y 0.5765 para pan de harina de arroz. Martínez *et al.* (2015) obtuvieron valores de 0.29-0.47 para panes sin gluten de almidón de maíz, almidón de yuca modificado, aislado proteico de soya y harina de arroz. Repo-Carrasco *et al.* (2020) señalaron valores de $0,32 \pm 0,0$ para panes libre de gluten de cañihua. Muñoz *et al.* (2019) reportaron valores de $0.57 - 1.27$ para panes sin gluten a

base de harina de cañihua y almidón de maíz. Aurica (2015) obtuvo valores de 0.61-0.68 para panes sin gluten con goma xantana y con goma guar respectivamente.

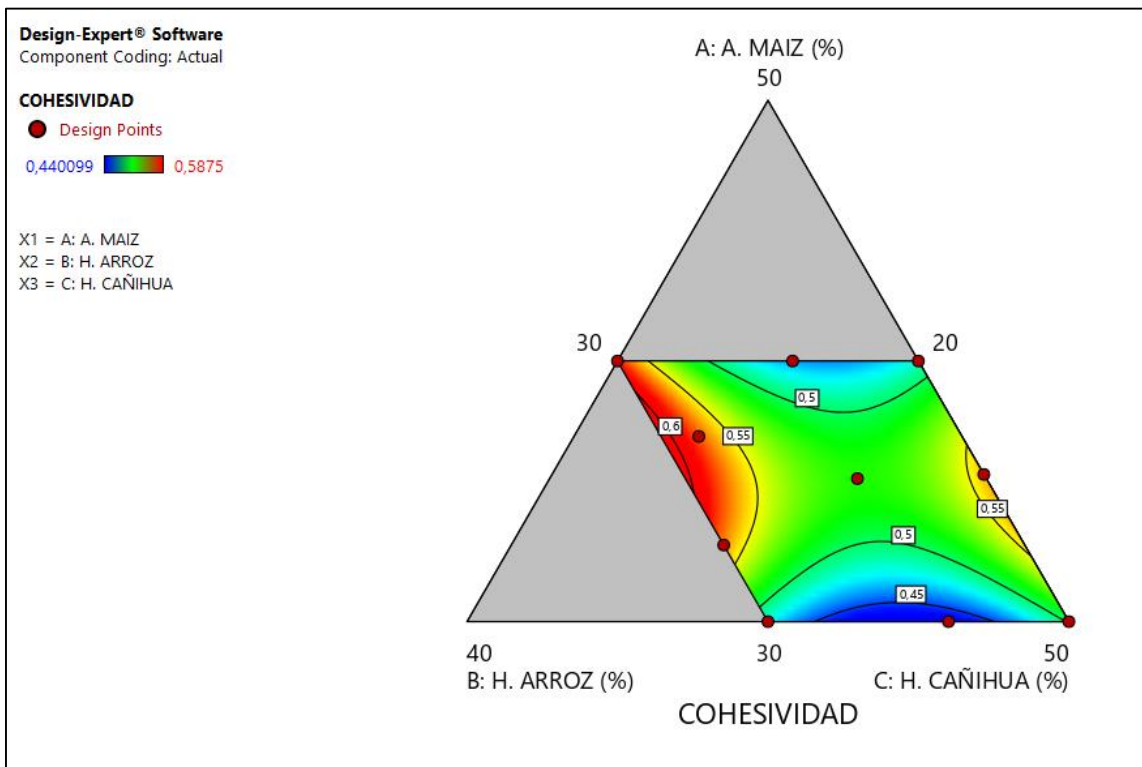


Figura 30: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz sobre la cohesividad de la miga del pan sin gluten

Esta variable refleja la cohesión interna del material, lo que indica que un pan con alta cohesividad es deseable, ya que forma un batido, en vez de desintegrarse durante la masticación, por otro lado, valores bajos de cohesividad indican incremento de la susceptibilidad del pan a la fractura (Onyango *et al.*, 2011).

Rivera (2014) concluyó en cuanto a la cohesividad que los panes de almidón de trigo demostraron los valores más altos y los panes de harina de maíz mostraron los valores más bajos, asimismo el hecho de que el pan de almidón de trigo sea el más elástico está asociado a que se necesite mayor esfuerzo para causar una deformación, y la baja elasticidad de los panes de harina de maíz se sabe es causa de su fácil deformación.

D. ELASTICIDAD EN EL PAN SIN GLUTEN

Se relaciona con la altura a la que el alimento se recupera durante el lapso de tiempo entre el final del primer mordisco y el inicio del segundo, mide cuánta estructura original del alimento se ha roto por la compresión inicial (González *et al.*, 2015). En la Tabla 22 se observa que el valor mínimo de elasticidad fue 0.88 en la formulación 4 (40%AM, 20%HA, 40%HC) y en la formulación 5 (40%AM, 24.18%HA, 35.82% HC), asimismo el valor máximo fue 0.90 en la formulación 1 (37.11%AM, 28.74%HA, 34.15%HC), en la formulación 3 (40%AM, 30%HA, 30%HC) y en la formulación 9 (32.94%AM, 30%HA, 37.06%HC). Los cuales se encuentran en el rango, según lo reportado por Martínez *et al.* (2015) quienes obtuvieron valores de 0.8-0.94 para pan sin gluten de almidón de maíz, almidón de yuca modificado, aislado proteico de proteína de soya y harina de arroz.

De igual manera otros autores reportaron valores cercanos a la investigación, como Repo-Carrasco *et al.* (2020) quienes obtuvieron valores de $0,87 \pm 0,0$ para panes libre de gluten de cañihua. Muñoz *et al.* (2019) obtuvieron valores de 0.7 – 0.87 para panes sin gluten a base de harina de cañihua y almidón de maíz. Rivera (2014) obtuvo un valor de 0.95525 en la elasticidad para pan de almidón de maíz y 0.83325 para pan a base de harina de arroz. Cajas (2018) obtuvo valores de 0.75-0.81 para panes óptimo sin gluten. Según la Tabla 22 los valores obtenidos fueron altos comparándolo con lo reportado por los autores mencionados.

Rivera (2014) definió a la elasticidad como la tasa a la que un material deformado regresa nuevamente a las condiciones iniciales, asimismo obtuvo que fue mayor en los panes de almidón de maíz y de almidón de trigo sin diferencias entre ellos, asimismo los panes de harina de maíz demostraron la menor elasticidad que también podrían estar relacionados a su esponjosidad, debido a que estos demostraron ser los únicos panes con miga que podía fracturarse es natural que su elasticidad fuera, y con diferencia, menor que la de los demás. En este sentido, McCarthy *et al.* (2005) relacionaron un pan de alta calidad y buen grado de frescura con una mayor elasticidad de la miga, puesto que un pan con valores bajos de elasticidad tiende a desmigajarse.

Es entendible que los panes resultados menos atractivo que un pan con trigo, respecto sus propiedades viscoelásticas, ya que los panes realizados no poseen gluten. El gluten es uno

de los elementos clave en la panificación con trigo, avena, cebada y centeno, ya que el 80 % de las proteínas que se encuentran en estas gramíneas son derivados del gluten, siendo un componente que favorece las propiedades viscoelásticas, y la capacidad de la masa para la retención de líquidos y gases (Sánchez *et al.*, 2008). Asimismo, dos proteínas son esenciales y componen mayoritariamente el gluten: glutenina y prolamina; la prolamina confiere viscosidad, mientras que la glutenina es responsable de las propiedades elásticas y cohesivas en el batido (Gujral & Rosell, 2004).

Algunos de los elementos ayudan a sustituir al gluten son compuestos hidrocoloides, emulgentes, enzimáticos o proteicos; que en la mayoría de los casos actúan de manera eficaz en determinadas combinaciones para recrear propiedades viscoelásticas (Marco & Rosell, 2008). Por ello, en la investigación se utilizó la goma xantana, CMC y la albúmina.

La Figura 31 muestra el diseño de mezclas de acuerdo al software Desing-Expert, para el índice de viscosidad de las diez formulaciones de pan sin gluten. Asimismo en el ANEXO 4 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones de la elasticidad.

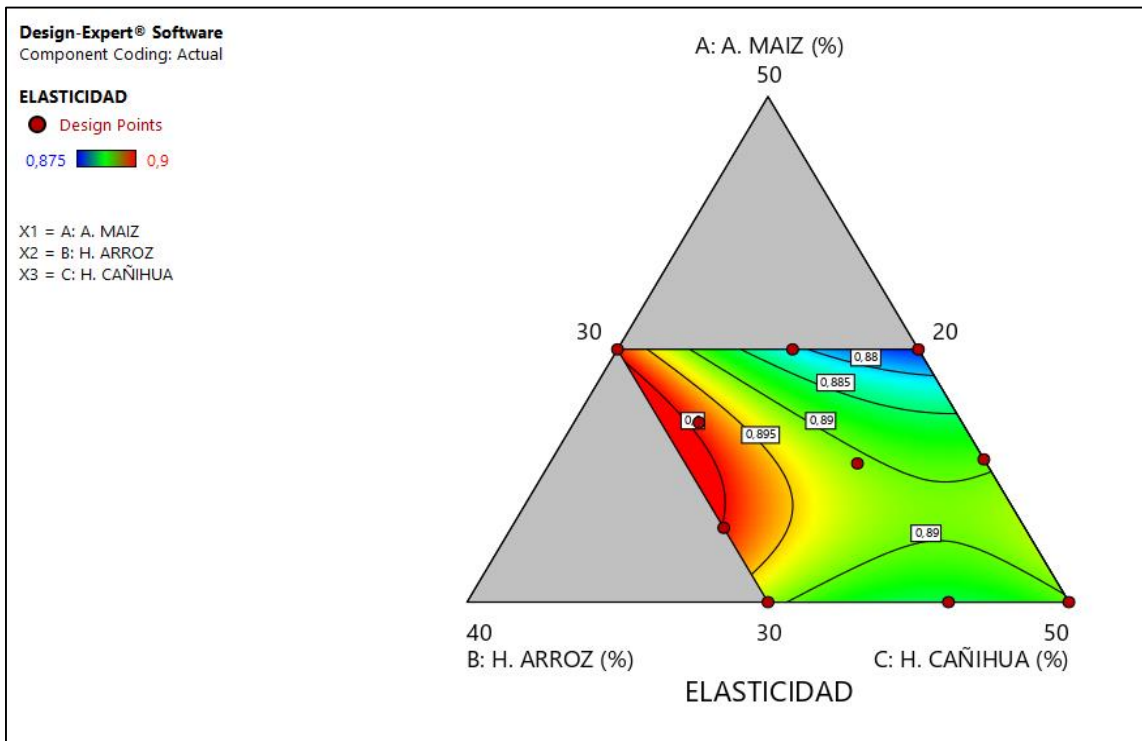


Figura 31: Diseño gráfico del comportamiento de las mezclas de harina de arroz, harina de cañihua y almidón de maíz sobre la elasticidad de la miga del pan sin gluten

4.4. DESARROLLO SIMULTÁNEO PARA OBTENER EL PAN ÓPTIMO LIBRE DE GLUTEN

La formulación óptima resultó mediante una optimización simultánea del volumen específico, dureza, luminosidad y densidad alveolar, la cual se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25: Valores óptimos de las variables dependiente e independiente en el pan libre de gluten

Variable	Finalidad	Valor óptimo
Independiente		
A: Almidón de Maíz		35.71%
B: Harina de Arroz		30.00%
C: Harina de Cañihua		34.29%
Respuesta		
Volumen específico (ml/g)	Maximización	1.62
Dureza (N)	Minimización	9.25
Luminosidad	Maximización	54.54
Densidad alveolar (n° alveólos/cm²)	Minimización	89.91

En la Figura 32 se muestra el diseño gráfico obtenido de la deseabilidad. Asimismo en el ANEXO 5 se muestra el diseño gráfico en tres dimensiones de la deseabilidad.

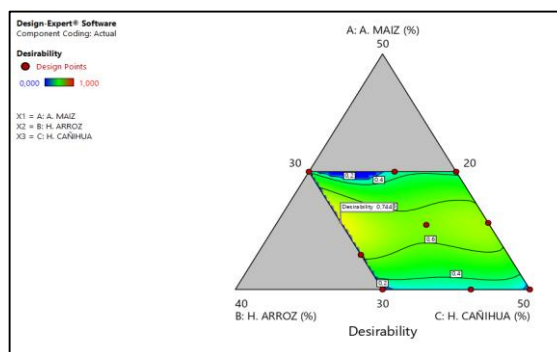


Figura 32: Diseño gráfico de la deseabilidad en el pan óptimo libre gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua

De acuerdo a la optimización realizada por el programa Desing Expert se obtuvo 3 formulaciones óptimas (ANEXO 6) y sus respectivos valores de deseabilidad, se procedió a realizar la formulación con mayor deseabilidad de 0.744, en la cual resultó 35.71% de almidón de maíz, 30% de harina de arroz y 34.29% de harina de cañihua. Cabe mencionar que la formulación óptima no pertenece a ninguna de las diez formulaciones anteriormente elaboradas para los análisis. Por lo cual, para el desarrollo de la formulación óptima, se realizó bajo las mismas condiciones y parámetros establecidos.

Repo-Carrasco *et al.* (2020) obtuvieron la formulación optimizada del pan sin gluten de cañiwa con harina de cañiwa (100%), goma xantana (0,9%) y agua (140%), en la cual demostraron que los almidones de este grano son propicios para el horneado y que cuando se mezclan con los niveles adecuados de agua y goma xantana, pueden producir panes de buena calidad física y nutricional. La calidad de un pan sin gluten de acuerdo a la preferencia sensorial se debe a varios factores.

El volumen específico es una de las características visuales más importante de los panes, ya que influye decisivamente en la elección del consumidor, por lo tanto, es un parámetro clave a la hora de evaluar la calidad del pan, mientras que Sciarini (2012) señaló que el volumen específico se utiliza como indicador de la esponjosidad. Arendt *et al.* (2002) señalaron que los panes sin gluten que tienen poco volumen, presentan una miga seca y frágil y se endurece rápidamente durante el almacenamiento. Por ello se maximizó el volumen específico y minimizo la dureza del pan sin gluten.

Aurica (2015) señaló una mayor aceptación del pan sin gluten cuando el valor de la luminosidad es mayor, asimismo mencionó que en la tonalidad de los panes influye la oxidación de los pigmentos durante mezclado. Por ello se buscó maximizó el valor de la luminosidad.

Los panes con migas más blandas fueron los panes con mayor volumen específico. El número y tamaño de alvéolos de la miga que contribuyen a la apariencia y textura del pan (Crowley *et al.*, 2002), los panes con mayor densidad alveolar (número de alveolos por centímetros cuadrado) son menos aceptable sensorialmente. Por ello se buscó minimizar el valor de la densidad alveolar. La Figura 33 muestra la imagen en 3D del pan óptimo.

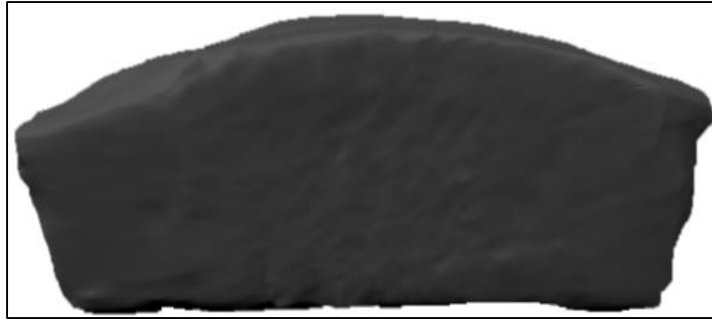


Figura 33: Imágen representativa del volumen en 3D del pan óptimo

La Figura 34 muestra la estructura alveolar en el interior del pan óptimo en la parte central y en un corte de 2.5 cm x 2.5 cm.



Figura 34: Imágenes representativas de la estructura alveolar del pan óptimo sin gluten

En la Figura 35 muestra una imágen representativa del pan óptimo sin gluten



Figura 35: Imágen representativa del pan óptimo sin gluten

4.5. CORROBORACIÓN DE RESULTADOS EN EL PAN ÓPTIMO LIBRE DE GLUTEN

Se determinó los valores medios experimentales del volumen específico (ml/g), dureza (N), luminosidad y densidad alveolar (n°alveólos/cm²), para obtener la validación del pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua, reportados en la Tabla 26.

Tabla 26: Resultados experimentales obtenidos de las variables respuesta en el pan óptimo libre de gluten

Variables Respuestas	Resultado experimental
Volumen específico (ml/g)	1,6 (0,06)
Dureza (N)	9,8 (0,06)
Luminosidad	54,67 (0,03)
Densidad alveolar (n°alveólos/cm²)	90,01 (0,02)

Promedio de 2 repeticiones ± DE

Se prosiguió a comparar los resultados experimentales obtenidos de los panes libres de gluten a las mismas condiciones de elaboración de las diez formulaciones anteriormente mencionadas con los valores de resultados mínimos y máximos predichos por el software Design Expert, valores fueron reportados en la Tabla 27, el cual muestra los resultados predichos (mínimo y máximo) y resultados experimentales medios evaluados con el análisis estadístico t-student, resultando valores sin diferencia significativa ($p < 0.05$) entre lo obtenido experimentalmente y los valores predichos de acuerdo al software.

Tabla 27: Resultados predichos (mínimo y máximo) y resultados experimentales medios

Variables respuestas	Mínimo resultado predicho	Resultados experimentales medios	Máximo resultado predicho
Volumen específico (ml/g)	1,51	1,6	1,68
Dureza (N)	8,45	9,8	17,69
Luminosidad	49,27	54,67	55,59
Densidad alveolar (n° alveólos/cm²)	72,13	90,01	116,58

Se puede observar que los resultados experimentales de las variables respuestas se encontraron dentro del intervalo establecido reportado por el programa, lo cual se concluye que el modelo matemático de optimización funciona.

4.6. CARACTERIZACIÓN DEL PAN ÓPTIMO LIBRE DE GLUTEN

En la Tabla 28 se reportan los valores medios del análisis proximal expresados en base seca (b.s.) y características fisicoquímicas en el pan óptimo libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua.

Tabla 28: Composición proximal y características fisicoquímicas (humedad y a_w) en el pan óptimo libre de gluten

Componente	Cantidad (%)
Carbohidratos totales (b.s.)	45,04 (0,01)
Ceniza (b.s.)	1,42 (0,03)
Grasa (b.s.)	5,8 (0,03)
Proteínas (b.s.)	15,01 (0,04)
Fibra dietaria insoluble	3,5 (0,03)
Fibra dietaria soluble	1.39 (0,02)
Humedad	49 (0,04)
Pérdida por cocción	7 (0,01)
Actividad de agua (a_w)	0,96 (0,01)

Los diferentes valores proximales de los estudios de muestras comerciales de panes sin gluten podría verse afectada por muchos factores, como la amplia gama de ingredientes

complejos añadidos y sus combinaciones, además de los aditivos utilizado para mejorar la estructura, la sensación en boca, la aceptabilidad y la vida útil de estos productos (Matos & Cristina, 2017). Murray (2011) reportó la composición nutricional de panes sin gluten, en el cual contenían 3.5-6.0g / 100g de proteínas, 3.0-6.5g / 100g de grasas y 71- 80g / 100g de carbohidratos, mientras que Matos & Cristina (2017) reportaron un contenido total de carbohidratos que varió de 68,42 g / 100 g a 92,96 g / 100 g, los valores señalados por los autores fueron elevados. Sin embargo, Rizzello *et al.* (2016), Millane & Wang (2017) mencionaron que los carbohidratos totales se encuentran entre 30,66 - 59,90 %. Lo cual corrobora los valores obtenidos de 45.04 % en el pan óptimo de la investigación.

Lo valores obtenidos de ceniza fue 1.42 % según la Tabla 28. Este resultado concuerda por lo expuesto por Matos & Cristina (2017), en el cual observaron grandes variaciones en el contenido de cenizas que variaron de 1,10 g / 100 g a 5,43 g / 100 g, el contenido de cenizas fue principalmente derivado del nivel de sal. Asimismo, Rizzello *et al.* (2016), Millane & Wang (2017) obtuvieron valores entre 0,58 - 2,60 %.

Matos & Cristina (2017) obtuvieron valores variables en cuanto al contenido de grasa que oscilan entre 2,00g/100g hasta 26.10g/100g, debido al el aporte del aceite vegetal o margarina en estos panes sin gluten. Mientras que Rizzello *et al.* (2016), Millane & Wang (2017) en la grasa cruda obuvieron valores entre 0,9 - 6,07 por ciento. Los rangos mencionados por los autores corroboran el valor obtenido según la Tabla 28, en el cual fue 5.8% de grasa.

Rizzello *et al.* (2016), Millane & Wang (2017) reportaron valores de proteína entre 3,30 - 11,60 %. Mientras que Joye *et al.* (2009) obtuvieron valores con respecto al contenido de proteínas de panes libres de gluten, entre 0,91 g / 100 g a 15.05g / 100g, estos valores en el contenido de proteínas deben estar asociado a la presencia de proteínas de leche y soja en la formulación, ya que esos ingredientes se utilizan como fuentes de proteínas en panes sin gluten. En la presente investigación se obtuvo 15.01%, lo cual está asociado a la proteína principalmente de la harina de cañihua y la albúmina añadida.

Según la Tabla 28, los valores de fibra dietaria insoluble y soluble fueron 3.5% y 1.39% respectivamente, dichos valores se encuentran en el rango establecido por Korus *et al.* (2009), los valores de fibra dietética insoluble, fibra dietética soluble y fibra dietética total

en panes sin gluten que osciló entre 2,77 y 4,99 g / 100 g, 1,23-1,45 g / 100 g y 3,61-6,30 g / 100 g, respectivamente. Thompson *et al.* (2005) reportaron valores de fibra dietética en muestras comerciales de pan sin gluten de 1,2 a 5,6 g / 100g, mientras que en el pan enriquecido con fibra estos valores variaron de 6,1 a 9,6 g / 100, asimismo Rizzello *et al.* (2016), Millane & Wang (2017) reportaron valores de 0,3 - 2,04 %.

La mayoría de los panes sin gluten evaluados contenían una buena cantidad de fibra dietética (> 3g / 100g), y en la mayoría de los casos la cantidad de fibra dietética soluble fue mayor que la fracción dietética insoluble (Matos & Cristina, 2017), lo cual corrobora los resultados obtenidos. Asimismo, las formulaciones de panes libre de gluten suelen contener gomas o hidrocoloides que se utilizan como espesantes o estabilizadores, hidrocoloides como goma xantana, goma guar, carboximetilcelulosa (CMC).

Martínez *et al.* (2015) obtuvieron valores de 72.48 - 89.65 % de humedad de la miga y 18.63 -33.63 % de humedad de la corteza para pan sin gluten de almidón de maíz, almidón de yuca modificado, aislado proteico de proteína de soya y harina de arroz. Sin embargo, Rizzello *et al.* (2016), Martínez *et al.* (2015), Millane & Wang (2017) reportaron valores de humedad entre 34,24 - 55,2%, rango en el cual se encuentra el valor obtenido de 49% para el pan óptimo. Lorenz & Coulter (1991), Guarda *et al.* (2004), Mohammadi *et al.* (2013), Hager *et al.* (2013), obtuvieron una relación directa entre la humedad de la miga y la cantidad de CMC.

La actividad de agua encontrada, experimentalmente, se encuentra dentro del rango (0,95-0,98) y es corroborado de acuerdo a los resultados obtenidos por Lazaridou *et al.* (2007) en investigaciones de productos libres de gluten. Martínez *et al.* (2015) obtuvieron valores de 0.95-0.97 para panes sin gluten a base de almidón de maíz, almidón de yuca modificado, aislado de proteína de soya y harina de arroz.

Según la Tabla 28, la pérdida por cocción resultó 7%. El cual es bajo a lo obtenido por Repo-Carrasco *et al.* (2020), en el que obtuvieron valores de $28,2 \pm 0,7$ % para panes libre de gluten de cañihua (100%) y a lo obtenido recientemente por Encina *et al.* (2018) en el cual obtuvieron 12.7-13.5 % para panes sin gluten con goma xantana. En el ANEXO 7 se muestran las fotografías de la elaboración de los panes sin gluten a base de harina de cañihua, harina de arroz y almidón de maíz.

V. CONCLUSIONES

1. Se logró la elaboración de los panes y determinó las formulaciones con el software Design Expert de acuerdo a los rangos establecidos en base a las diferentes búsquedas bibliográficas.

2. Se realizó los análisis de las propiedades reológicas, viscoamilográficas, colorimétricas y fisicoquímicas; en el cual se determinó que la inclusión de cantidades crecientes de harina de cañihua favoreció el volumen específico del pan, por su alto contenido de proteínas, mejoró la fuerza del batido favoreciendo la retención de CO₂; la dureza de la miga se ve favorecida principalmente por cantidades creciente de almidón de maíz y bajas cantidades de harina de cañihua; la luminosidad en la miga se ve favorecida principalmente por altas cantidades de harina de arroz; el número de alveólos por centímetro cuadrado se ve favorecido por altas cantidades de harina de cañihua.

3. Se logró la optimización del pan sin gluten con valores mínimos de dureza, y densidad alveolar y máximos de volumen específico y luminosidad, en el cual se obtuvo una formulación óptima de 35.71% de almidón de maíz, 30% de harina de arroz y 34.29% de harina de cañihua. En el pan óptimo se obtuvo 1.62 ml/g de volumen específico, 9.25 N de dureza, 54.54 de luminosidad y 89.91 alvéolos por centímetro cuadrado.

4. En la caracterización de la formulación óptima se obtuvo se obtuvo valores experimentales de 1.6 mL/g de volumen específico, 9.8 N de dureza, 54.67 de luminosidad y 90.01 alveolos/cm² de densidad alveolar, dichos valores se encontraron en el rango establecido por los valores predichos del software Design Expert; asimismo se realizó el análisis proximal y se obtuvo 49% de humedad, 0.96 de actividad de agua.

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar el contenido de proteínas en las diez formulaciones, para caracterizarlo y obtener un pan óptimo con mayor aporte nutricional.
- Evaluar el tiempo de vida útil, para realizar mejoras en la formulación y poder realizar un producto que pueda ser comercializado.
- Realizar la evaluación sensorial para una obtener una mejor formulación aceptable al público objetivo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- AACC (2000). American Association of Cereal Chemists. International Approved Methods. Hydrogen-ion activity (pH) electrometric method. AACC International Approved Methods.
- AACC (2010). AACCI Method. Método general de pegado para harina o almidón de trigo o centeno utilizando el Rapid Visco Analyzer S. Paul, Minnesota: AACCI, 11 (1):76-21
- Acebers, E.; Kovacs, Z.; Matuz, J. (2016). Possibilities of producing low-protein, gluten-free bread. Structure formation. *Novenytermeles*, 46 (1): 227-234
- Adebowale, K.; & Lawal, O. (2003). Microestructura, propiedades fisicoquímicas y comportamiento de retrogradación del almidón de frijol *Mucuna pruriens* en tratamientos de calor y humedad. *Hidrocoloides alimentarios*, 17: 265-270.
- Agama, E.; Suarez, E.; Evangelista, S.; Rosales, O.; Bello, L. (2012). As características do amido de milho e sua relação com enzimas. *Agrociencia*, 47(1) Texcoco ene./feb. 2013. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952013000100001
- Ahlborn, G.; Hendrix, S.; Huber, C. (2005). Evaluación sensorial, mecánica y microscópica del envejecimiento en panes bajos en proteínas y sin gluten. *Cereal Chemistry*, 82: 328-335.
- Alva (2013). Training and Validation of a panel of tasters for the sensory evaluation of enriched gluten-free breads (Tesis para optar el grado de Magister en Calidad, Desarrollo e Innovación de alimentos, Universidad de Valladolid). España.
- Alvarado (2010). Preparation of Precooked Noodles from cañihua flour as a partial substitute for wheat flour. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3357/Alvarado_Mamani_Ulises.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Álvarez, L.; Arendt, E.; Gallagher, E. (2009). Valor nutritivo y composición química de pseudocereales como ingredientes libres de gluten. *Revista Internacional de Ciencias de la Alimentación y Nutrición*, 60(4): 240–257.
- Álvarez, L.; Auty, M.; Arendt, E.; Gallagher, E. (2010). Baking properties and microstructure of pseudocereal Flours in gluten-free bread formulations. *Eur Food Res Technol*. 230:437–445.
- Alvis, A.; Vélez, C.; Villada, H. & Radamendoza, M. (2008). Análise físico-química e morfológica de féculas de inhame, mandioca e batata, e determinação da viscosidade da pas. *Información Tecnológica*, 19 (1):19 – 28.
- Angioloni, A.; Collar, C. (2009). Comportamiento viscoelástico de pequeña y gran deformación de mezclas de fibras seleccionadas con propiedades gelificantes. *Food Hydrocolloids* 23(3):742–748.
- Anton, A.; Artfield, S. (2008). Hidrocoloides en panes sin gluten: una revisión. *Revista Internacional de Ciencias de la Alimentación y Nutrición*, 59, 10-20.
- Arendt, E.; Brien, C.; Schober, T.; Gallagher, E; Gormley, T. (2002). Desarrollo de productos de cereales sin gluten. *Farm and Food*, 12: 21–27
- Aristizábal, J. & Sánchez, T. (2007). Production and analysis of cassava starch. United Nations Organization for Agriculture and Food. Rome.
- Aurica, C. (2015). Obtaining gluten-free breads: Structural effect of different hydrocolloids on corn bread doughs. Master en Gestión y Seguridad Alimentaria. España - Valencia.
- Badui, S. (1997). Química de los alimentos. Quinta reimpresión. Editorial Alambra.
- Baldera, K.; Chaupis-Meza, D.; Cárcamo, C.; Holmes, K.; García, P. (2020). Seroprevalencia poblacional de la enfermedad celiaca en zonas urbanas del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 37 (1):6-63. doi: <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2020.371.4507>
- Belén F. (2012). Formulación y análisis de costos de pan tostado tipo dulce enriquecido con micronutrientes para el consumo de la población guatemalteca con enfermedad celíaca (Tesis Licenciatura –Nutricionista). Guatemala.
- Bell, D. (1990). Methylcellulose as a structure enhancer in bread baking. *Cereal Foods World*, 35: 1001-1006.
- Bessonova, N.; Mironova, N. (2015). Verification of the Sanitary Standard Rm N° 1020-2010/Minsa in the Manufacture of sliced bread marketed in the City of Sullana. *Universidad Nacional de Piura*.1:62-63

- Bermiller, J. (2008). Hydrocolloids. In E.K. Arendt & Fabio (Eds.). *Gluten-free cereal products and beverages* 2^a ed., pp. 203-214.
- Bhatt, S. & Gupta, K. (2015). Formulaci3n de pan (harina compuesta) y estudio de sus propiedades nutritivas, fitoqu3micas y funcionales. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 4(2), 254–268.
- Blanco, T.; Alvarado-Ortiz, C.; Mu1noz, A. (2022). Evaluaci3n de la composici3n nutricional de la maca y ca1nhua, procedente de diversos departamentos del Per3. *Horiz Med.* 3(1), p. 5-9
- Bourne, M. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32: 62-66
- Bravo, E. & Ortega, J. (2017). Effect of granulometry and formulation on the quality of an extruded snack based on rice (*oryza sativa L.*), quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) and defatted chia cake (*Salvia hispanica L.*) (Tesis para optar el T3tulo profesional de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional del Santa) Chimbote, Per3. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/225485683.pdf>
- Brites, L., Schmiele, M., Steel C. (2018). Chapter 13 - Gluten-Free Bakery and Pasta Products, In *Alternative and Replacement Foods*, Editor(s): Alina Maria Holban, Alexandru Mihai Grumezescu, Academic Press. p. 385-410.
- Cajas, J. (2018). Rice-based gluten-free bread: obtaining and determining the properties of native and modified flours, mix design, preparation and characterization of the final product (Tesis presentada para optar por el t3tulo de Magister, Universidad de Buenos Aires en el 3rea de Bromatolog3a y Tecnolog3a de la Industrializaci3n de Alimentos). Buenos Aires–Argentina.
- Callejo, M. (2010). *Milling and Bakery: Professional Bakery and Pastry Magazine*. Barcelona: Montagud Editores.
- Calvo, C. & Duran, L. (2002). *Propiedades F3sicas II: 3pticas y Color*. *Tecnolog3a de Alimentos Vol. 1*. CITED-IPN. Editorial Alfa y Omega. M3xico, D.F.
- Cantero, E. (2019). Caracterizaci3n proteica de harinas sin gluten de tef y arroz nativos y modificados por tratamiento microondas y de ultrasonidos. (Tesis para optar el T3tulo en Nutrici3n y Diet3tica, Universidad Valladolid). Valladolid, Espa1a. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/36911/TFG-M-N1619.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Cappa, C.; Lucisano, M.; Mariotti, M. (2013). Influencia de Psyllium, fibra de remolacha azucarera y agua en las propiedades de la masa sin gluten y la calidad del pan. *Carbohidrato-pol3mero*. 98(2):1657-1666.

- Capriles, V.; Santos, F.; Areas, J. (2016). Gluten-free breadmaking: improving nutritional and bioactive compounds. *Journal of Cereal Science*, 67(1): 83-91.
- Carbajal, A. (2016). Importancia del consumo diario de pan para la salud. Universidad Complutense de Madrid. España.
- Casella, C.; Villanacci, V.; Di Bella, C.; Bassotti, C.; Bold, J.; Rostami, K. (2018). Non-celiac gluten sensitivity and diagnostic challenges. *Gastroenterol Hepatol Bed Bench*; 11(3): 197-202.
- Champagne, E. (1996). Rice starch composition and characteristics. *Cereal Foods World*, 41: 833-837.
- Chaucheyras, F. (2017). Efecto de la adición de Levucell *Saccharomyces cerevisiae* en la microflora del rumen de ovejas durante la adaptación a dietas altas en almidón. *Reproducción Nutrición Desarrollo* 1: 3-4.
- Chen, H; Rubenthaler, G; Leung, H; Baranowski, J. (1988). Propiedades químicas, físicas y de horneado de la fibra de manzana en comparación con el salvado de trigo y avena. *Química de los cereales* 65(3):244- 247.
- Cornell, J. (2002). Experiências com desenhos de misturas, modelos e análise de dados de misturas. John Willey & Sons, New York
- Crowley, P.; Schober, T.; Clarke, J. & Arendt, E. (2002) El efecto del tiempo de almacenamiento en las características de textura y grano de la miga del pan de trigo de masa fermentada. *Tecnología europea de investigación alimentaria*, 214: 488-495.
- Deetae, P.; Shobsngob, S.; Varanyanond, W.; Chinachoti, P.; Naivikul, O.; Varavinit, S. (2008). Preparación, propiedades de pegado y estabilidad de congelación y descongelación del almidón de arroz fosforilado con reticulación modificada dual. *Polímeros de carbohidratos*, 73: 351-8.
- De la Cruz, W. (2009). Protein supplementation of wheat flour (*Triticum aestivum* L.) by quinoa flour (*Chenopodium quinoa*) and whey in sliced bread and shelf life. (Tesis para obtención de grado de Magister Scientiae en Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional Agraria La Molina). Lima, Perú.
- De la Hera, M.; Talegóm, N.; Caballero, M.; Gómez, R. (2012). Influencia del tamaño de partícula de la harina de maíz en la elaboración de pan sin gluten. *Revista da Ciência da Alimentação e Agricultura*, 15: 924–932.

- De la Hera, M.; Martínez, R.; Gómez, R. (2013). Influência do tamanho de partícula da farinha na qualidade do pão de arroz sem glúten. *LWT-Ciencia de los alimentos. Tecnología*. 54: 199-206.
- De La Hera, M.; Rosell, M.; Gómez, R. (2014). Efeito do teor de água e do tamanho das partículas de farinha na qualidade e digestibilidade do pão sem glúten. *Food Chem*. 151:526-531.
- Dobraszczyk, B.; Morgenstern, M. (2003) Review. Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Sciences*, 38 (2003): 229–245.
- Dong, W.; Hosney, R. (1995). Efeitos de certos oxidantes e agentes redutores de panificação nas propriedades reológicas da massa. *Cereal Chemistry* 72: 58–64.
- Dubat, A.; Rosell, C.; Gallagher, E. (2013). MIXOLAB A New Approach to Rheology. In *AACC International*. AACC International. 1(1): 4-6
- El Dash, A.; Gonzales, R.; Ciol, M. (1983). Metodología de superficie de respuesta en el control de la extrusión de termoplásticos de almidón. *Revista de Ingeniería de Alimentos*, 2: 129-152.
- Encina, C.; Fernando, V.; Teixeira J. (2018). Efecto combinado de la goma xantana y el contenido de agua en las propiedades fisicoquímicas y de textura de la masa y el pan sin gluten. *Investigación Internacional de Alimentos* 1(1): 544-555
- Every, D.; Morrison, S.; Simmons, L; Ross, M. (2006). Distribución de glutatión en las corrientes de molino y relaciones con las propiedades químicas y de horneado de la harina. *Química de cereales* 83: 57–61.
- FAO (2009). Available online database of the general standard of the Codex Alimentarius “Cereals, Pulses, Legumes and Vegetable Protein Products”.
- Fasano, A. & Catassi C. (2001). Diagnostic and treatment approaches for celiac disease: an evolving spectrum. *Gastroenterology*. 120(1): 636-651.
- Farrell, J. & Kelly, P. (2002). Coeliac sprue. *New Engl J Med* 346(3):180–8.
- Feillet, P., Autran, J. & Icard-Vernière C. (2000) Pasta brownness: an assessment. *Journal of Cereal Science*, 32: 215-233.
- Fernández A. (2012). Formulación y análisis de costos de pan tostado tipo dulce enriquecido con micronutrientes para el consumo de la población guatemalteca con enfermedad celíaca (Tesis para la obtención de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad Rafael Landívar). Guatemala
- Gallagher, E.; Gormley, T.; Arendt, E. (2003). Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering*. 56:153–161.

- Gallagher, E.; Gormley, T.; Arendt, E. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science and Technology*. 15(4): 143–152.
- Gambús, H.; Marek, S.; Ziobro, R. (2007). El efecto de la composición de hidrocoloides en las propiedades del pan sin gluten. *Acta Scientiarum Polonorum-Technologia Alimentaria*. 6 (3): 61-74.
- García, B.; Santos, L.; Gómez, P. (2000). Xanthan gum: production, recovery and properties. *Biotechnology Advance*. 18: 549-579.
- Gómez, P.; León, A.; Rosell, C. (2007). Trigo. En A. E., León, y C. M., Rosell (Eds.), *De tales harinas, tales panes* (pp. 19-71). Córdoba: CYTED.
- Gómez, S., Jiménez, L., Ruiz, M., Oliete, M. (2011). Efeito do salvado de trigo extruído sobre a reología de la masa y la calidad del pan. *LWT - Food Science and Technology*. 44: 2231-2237.
- González, A.; Alvis, A.; Arrázola, G. (2015). Efecto del recubrimiento comestible sobre las propiedades de rodajas de camote cocidas mediante fritura profunda. Part 1: Texture. *Inf. Technology*. 26(1). Recuperada de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000100011>.
- Gray, J.; Bermiller, J.; (2003). Encurtamento do pão: Base molecular e controle. *Revisões abrangentes em ciência de alimentos e segurança de alimentos*. 2: 10-31.
- Guarda, P.; Benedito, O.; Galotto, R. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocoll*. 18(2):241-247.
- Gujral, H.; Haros, M.; Rosell, C. (2004). Mejorando la textura y retrasando el envejecimiento en chapati de harina de arroz con hidrocoloides y alfa amilasa. *Journal Food Engineering* 65: 89- 94.
- Gujral, H. & Rosell, C. (2004). Mejora de la Calidad Panificadora de la Harina de Arroz por Glucosa Oxidasa. *Food Research International*. 37(1):75- 81.
- Gutiérrez, H. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. México, D.F. McGraw-Hill.
- Hager, B.; Czerny, N.; Bez, U.; Zannini, N.; Arendt, D. (2012). Investigación de la calidad del producto, el perfil sensorial y la ultraestructura de panes elaborados con una variedad de harinas comerciales sin gluten en comparación con sus contrapartes de trigo. *European Food Research and Technology*, 235 (2): 333–344.
- Hager, B.; Arendt, D. (2013). Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on the specific volume of bread, hardness of

- bread and grain characteristics of bread without gluten based on rice, milho, teff and buckwheat. *Food Hydrocoll.* 32(1):195-203.
- Hasjim, J.; Li, E.; Dhital, S. (2013). Molienda de granos de arroz: el papel de las estructuras del almidón en la solubilidad y las propiedades de hinchamiento de la harina de arroz. *Starch - Stärke*, 64 (8): 631-645.
- Hegarty, V. (2014). *Nutrition Food and the Enviroment*. Eagan Pres. St. Paul, Minnesota, Estados Unidos de América.p.521.
- Hoseney, C. (2018). *Principios de ciencia y tecnología de cereales*. Acribia S.A. Zaragoza – España.
- Horstmann, S.; Foschia, M; Arendt, D. (2017). Análisis de correlación de las características de calidad de la proteína con las propiedades del pan sin gluten. *Food y Function* 8(7): 2465–2474.
- Houben, A.; Höchstötter, A.; Becker, T. (2012). Posibilidades de aumentar la calidad en la producción de pan sin gluten: una visión general. *European Food Research and Technology*, 235(2): 195–208.
- Howling, D. (1980). A influência da estrutura do amido em suas propriedades reológicas. *Química alimentar*, 6(4): 51-56.
- Huttner, E. & Arendt, E. (2010). Avanços recentes no cozimento sem glúten e o status atual da aveia. *Tendências em Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 21(6): 303–312.
- Hui, Y.; Corke, H.; Leyn, I.; Cross, N.; NIP, W. (2006). *Baking products: Science and Technology*. Blackwell Publishing. Iowa – EEUU
- Hyun-Jung, C. & Quiag, L. (2009). Impacto de la asociación molecular de la cadena de amilopectina y amilosa durante el enfriamiento. *Carbohydr. Polym.* 77: 809-815.
- Jnawali, P.; Kumar, V.; Tanwar, B. (2016). Enfermedad celíaca: descripción general y consideraciones para el desarrollo de alimentos sin gluten. *Food Science and Human Wellness*, 5(4): 169–176
- Joye, J.; Lagrain, B.; Delcour, J. (2009) Agentes redox endógenos e enzimas que afetam a formação da rede de proteínas durante a panificação: uma revisão. *Revista de Ciência dos Cereais*. 50: 1-10.
- Karmas, E. & Harris, R. (2017). *Nutritional Evaluation on Food Processing*. 3 ed. AVI Book – Van Norstrand Reinhold. New York – The United States.
- Kent, N. & Evers, A. (2013). *Technology of Cereals: An Introduction for Students of Food Science and Agriculture*. 4 ed. Pergamon. Oxford – The United Kingdom.

- Korus, J.; Witczak, M.; Ziobro, R.; Juszczak, L. (2009) El impacto del almidón resistente en características de la masa y el pan sin gluten. *Hidrocoloides alimentarios* 23: 988–995.
- Kuehl, R. (2001). *Desenho de Experimentos: Princípios Estatísticos para Desenho e Análise de Pesquisa*. 2a. Edição Thomson - Aprendizagem. México, D.F. 650
- Lascano, A. (2010). *Estudo Reológico de Misturas de Farinhas de Cereais: Cevada (*Hordeum vulgare*), Milho (*Zea mays*), Quinoa (*Chenopodium quinoa*), Trigo (*Triticum vulgare*) e Tubérculo: Batata (*Solanum tuberosum*) Nacionais com trigo importado (*Triticum vulgare*) para orientar seu uso na fabricação de pães e massas* (Tesis para optar el grado de Ingeniero de Alimentos, Universidad Técnica de Ambato). Ambato, Ecuador.
- Lazaridou, P.; Duta, N.; Belc, N.; Biliaderis, C. (2007). Efeitos de hidrocolóides na reologia da massa e parâmetros de qualidade do pão em formulações sem glúten. *Revista de Engenharia de Alimentos*, 79(3): 1033–1047.
- León, A. & Urbina, K. (2015). *Formulation, Nutritional and Sensory Evaluation of integral sliced bread enriched with quinoa (*Chenopodium quinoa*), cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) and chia (*Salvia hispánica L.*)* (Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional del Santa). Chimbote, Perú.
- Lezama, A. (2015). *Development of a sliced bread from the by-products of whole grain rice processing and determination of its functional properties* (Tesis para optar el grado de Licenciada en Ingeniero de Alimentos, Universidad de Costa Rica) Costa Rica
- Li, J. & Nie, S. (2016). Los aspectos funcionales y nutricionales de los hidrocoloides en los alimentos. *Food Hydrocolloids*, 53: 46-61.
- Lindbloom, B. (2012). CIE color calculator. Disponible en: Brucelindbloom.com
- López, T.; Ramírez, M.; Martínez, B.; Espinosa, D. (2002). Una región de confianza para las variables explicativas en experimentos con mezclas usando calibración. *Agrociencia*, 36: 579-592.
- López, A.; Pereira, A.; Junqueira, R. (2004). Harina mezcla de harina de arroz, maíz y almidón de yuca en la elaboración de pan blanco sin gluten. *Braz Arch Biol Techn* 47: 63-70.
- López, J.; Rodríguez, E.; Sepúlveda, J. (2012). Evaluación de características físicas y texturales de pan de bono. *Acta Agron.* 61(3): 273-281.

- Lorenz, K; Coulter, L. (1991). Quinoa flour in baked products. *Plant Foods for Human Nutrition* volume 41: 213-221.
- Loubes, M. (2015). Molienda seca y húmeda de arroz en un molino planetario. Cinética de molienda, efecto de las condiciones de molienda en las propiedades funcionales de la harina y el almidón, y diseño de mezclas de masas sin gluten (Tesis para optar el grado de Doctor, Universidad de Buenos Aires). Argentina. Recuperado de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n5660_Loubes.pdf
- Machado-Alencar, N.; Steel, C.; Alvim, I.; Carvalho de Morais, E.; Andre, H. (2015). Adição de farinha de quinoa e amaranto em pães sem glúten: perfil temporal e análise instrumental. *LWT – Food Science and Technology*, 62(2):1011-1018. doi:10.1016/j.lwt.2015.02.029.
- Mancebo, C.; Merino, C.; Martínez, M.; Gómez, M. (2015). Preparation of mixtures of rice farinha, cornstarch and wheat starch for the optimization of the quality of gluten-free bread. *Food Science Technology Journal*. doi 10.1007/s13197-015-1769-4.
- Mancebo, C. (2016). Reformulación de panes y galletas de masa corta sin gluten: Cambios en la reología de las masas y en la calidad de los productos (Tesis para optar el grado de Doctora, Universidad Valladolid). España.
- Malavet, M. (2009) Modificación de las propiedades de la harina de tarwi, harina de arroz y almidón de maíz mediante la adición de aminoácidos a varios niveles de pH. Tesis de Maestría, Department of Food Science, Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.
- Marco, C.; Pérez, G.; Ribotta, P.; Rosell, C. (2007). Efecto de la transglutaminasa microbiana sobre las fracciones proteicas de arroz, guisantes y sus mezclas. *Journal of Science Food Agriculture*, 87, 2576–2582.
- Marco, C.; & Rosell, C. (2008). Efecto de diferentes aislados de proteína y transglutaminasa sobre las propiedades de la harina de arroz. *Journal of Food Engineering*, 84(1): 132–139.
- Martín, L. & Glauser, R. (2001). Celiac disease and naturism: (2nd part). *Medical journal for the study and dissemination of alternative medicines*, 19(4), 168-174.
- Martínez, F.; Rodrigues, E.; Hernandez, M. (2015). Impacto of Carboxymethylcellulose and Water addition on Baking Quality and physicochemical Properties of Gluten-Free Bread. *Ver. U. D. C. A. Act. & Div. Cient.* 18(2): 445-454.

- Martínez, C. (2016). Reformulación de panes y galletas de batidos sin gluten: cambios en la reología de las masas y en la calidad de los productos (Tesis para optar al grado de Doctora, Universidad de Valladolid). México
- Matos, M. & Rosell, C. (2015). Entender la masa sin gluten para llegar a panes con calidad física y equilibrio nutricional. *Revista de la ciencia de la alimentación y la agricultura*, 95(4): 653–661.
- Matos, M. & Cristina, M. (2017). Chemical Composition and Starch Digestibility of Different. *Gluten Free Breads. Gluten Free Breads Composition-Research manuscript*. 1(2): 40-58.
- Mariotti, M.; Pagani, M.; Lucisano, M. (2013). El papel del trigo sarraceno y HPMC en las propiedades de panificación de algunas mezclas comerciales de pan sin gluten. *Food Hydrocolloids*, 30(1): 393–400
- Masure, H.; Fierens, E.; Delcour, J. (2016). Enfoques experimentales actuales y prospectivos en la investigación de la elaboración de pan sin gluten. *Journal of Cereal Science*, 67: 92–111.
- McCarthy, D.; Gallaguer, T.; Schober, T.; Arendt, L. (2005). Application of the response surface methodology in the elaboration of gluten-free bread. *Cereal Chemistry*. 82: 609-615.
- Mezaize, S.; Bail, A.; Lamballerie, M. (2009). Optimization of gluten-free formulations for French-style breads. *Journal of Food Science*. 74 (3):140–146.
- Miñarro, B.; Capellas, M.; Albanell, E. (2016). Optimización de pan sin gluten. *Alimentaria. Investigación, tecnología y seguridad*. 403(3): 60-62.
- Millane, R. & Wang, B. (2017). Una conformación similar a la celulosa accesible a la columna vertebral de xantano e implicaciones para el sinergismo de xantano. *Carbohydrate Polymers*, 13: 57-68.
- Miranda-Villa, P.; Mufari; Jesi; Bergesse, A.; Planchuelo, A.; Calandri, E. (2018). Calidad nutricional y propiedades físicas de panes libres de gluten. *Nutrición clínica y dietética hospitalaria*. 38(3):46-55 doi: 10.12873/383miranda
- Mir, S.; Shad, M.; Naik, H.; Zargar, I. (2016). Influencia de los hidrocoloides en el manejo de batidos y propiedades tecnológicas de panes sin gluten. *Trends in Food Science and Technology*. 51: 49–57.
- Mohammadi, M.; Sadeghnia, N.; Azizi, M.; Neyestani, T.; Mortazavian, A. (2013). Desarrollo de pan plano sin gluten utilizando hidrocoloides: Xantana y CMC. *J. Industria. Ing. Química* 20(4): 1812-1818

- Molina-Rosell, C. (2013). Alimentos sin gluten derivados de cereales. *Revista chilena de nutrición* 46(5). Santiago
- Montilla, Y. (2015). Elaboración y nivel de agrado de un pan libre de gluten a base de harina de yuca y harina de sagú fortificada con albumina (Título de Licenciada en Nutrición y Dietética, Universidad de los Andes). Mérida-Colombia
- Montgomery, D. (2002). *Diseño de análisis de experimentos* 2da Edición. Editorial Limusa Wiley.
- Montoya, J.; Giraldo, G.; Lucas, J. (2012). Caracterização física da farinha de trigo e pão pela determinação da viscosidade e cristalinidade da massa. *Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal*. 19(1). Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914108.pdf>
- Morales, R. (1994). Development of a sweet bread with protein calories, vitamin A, iron and other micronutrients. Universidad del Valle-Guatemala
- Moore, M.; Schober, P.; Arendt, M. (2004). Comparación textural de batidos, rebozados y panes sin gluten y a base de trigo. *Cereal Chemistry*, 81: 567-575.
- Moore, M.; Heinbockel, M.; Dockery, P.; Ulmer, H.; Arendt, E. (2016). Formación de redes en pan sin gluten con aplicación de transglutaminasa. *Cereal Chemistry* 83: 28-36.
- Muñoz, A.; Ramos, F.; Zegarra, S. (2019). Elaboration of a gluten-free bread based on cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) flour and sensory acceptability evaluation. *Revista chilena de nutrición*. Santiago, 46(5). doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182019000500561>
- Murray, J. (2011). The widening spectrum of celiac disease. *Am J Clin Nutr* 69:354– 65.
- Narváez, E.; Figueroa, J.; Taba, S.; Castaño, E.; Martínez, R. (2007). Effect of the size of corn starch granules on their thermal and plasticizing properties. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30 (3): 269 – 277.
- Niewinski, M. (2008). Avanços na doença celíaca e na dieta sem glúten. *I am Diet Assoc* 108: 661-672.
- Noel T.; Ring H.; Stephen G. (1992). *Carbohydrate Research*. 277:203.
- Onyango, C.; Unbehend, G.; Lindhauer, M. (2009). Efecto de los derivados de celulosa y emulsionantes sobre la recuperación de la fluencia y las propiedades de la miga del pan sin gluten preparado a partir de sorgo y almidón de yuca gelatinizado. *Food Res. Int.* 42(8): 949-955.

- Onyango, C.; Unbehend, G.; Lindhauer, M. (2011). Modificación de rebozados y panes de sorgo sin gluten utilizando almidón de maíz, patata, mandioca o arroz. *LWT - Food Sci. Tech.* 44(3): 681-686
- Ordaz, N. (2010). Desarrollo de un producto de panificación destinado a personas con enfermedad celíaca (Tesis para obtener el Título de Maestro em Ciencias em Alimentos, Instituto Politécnico Nacional). México.
- Ortolan, P. (2006). Development of a "cubilete" bread, added Chia seeds (*Salvia hispanica* L.), as a source of fiber for school-age children. V Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica- México.
- Pedrero, D; Pangborn, N. (2017). Evaluación sensorial de alimentos, Métodos analíticos. Editorial Alhambra Mexicana. México D.F.
- Pellegrini, N. & Agostoni, C. (2015). Aspectos nutricionales de los productos sin gluten. *Revista de la ciencia de la alimentación y la agricultura*, 95(12): 2380–2385.
- Peressini, D.; Pin, M.; Sensidoni, A. (2011). Reología y rendimiento panificable de rebozados de arroz y trigo sarraceno suplementados con hidrocoloides. *Food Hydrocolloids*, 25: 340-349.
- Pongjaruvat, W.; Methacanon, P.; Fuongfuchat, A.; Gamonpilas, C. (2014). Influencia del almidón de tapioca pregelatinizado y la transglutaminasa en la reología de la masa y la calidad de los panes de arroz jazmín sin gluten. *Food Hydrocolloids*, 36: 143–150. doi:10.1016/j.foodhyd.2013.09.004.
- Ragae, S.; Abdel-Aal, E. (2006). Propiedades aglutinantes del almidón y la proteína en cereales seleccionados y calidad de sus productos alimenticios. *Food Chemistry* 95(1): 9–18
- Rai, S.; Kaur, A.; Chopra, C. (2018). Gluten-free products for celiac susceptible people. *Front Nutr* (2018); 5: 116.
- Ranilla, L.; Apostolidis, E.; Genovese, M.; Lajolo, F.; Shetty, K. (2009). Evaluación del potencial antidiabético y antihipertensivo de granos autóctonos de la región andina peruana mediante métodos in vitro. *J Med Food*. 12(4): 704-713.
- Repo-Carrasco, R.; Vidaurre, J.; Luna, G. (2020). Elaboración de Panes Sin Gluten Utilizando Granos Nativos Andinos Quinoa, Kañiwa, Kiwicha y Tarwi. *Proceedings* 53 (15). doi: 10.3390/proceedings2020053015
- Renzetti, S.; Bello, L.; Arendt, E. (2017). Microestructura, reología fundamental y características de horneado de masas y panes a partir de diferentes harinas sin

- gluten tratadas con una transglutaminasa microbiana. *Journal of Cereal Science* 48 (2008) 33–45
- Rivera, J. (2014). Cambios microestructurales y reológicos de masas y panes sin gluten (Trabajo Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos, Universidad de Valladolid). España
- Rizzello, C.; Lorusso, A.; Gobbetti, M. (2016). Uso de masa madre elaborada con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) y bacterias lácticas autóctonas seleccionadas para potenciar las características nutricionales, texturales y sensoriales del pan blanco. *Food Microbiology* 56:1-13. DOI:10.1016/j.fm.2015.11.018.
- Rodríguez, E.; Fernández, A.; Alonso, L.; Ospina, B. (2011). Gluten-free breads with protein mixes. *Scientific Magazine Engineering and Development*, 19(19): 17-30.
- Rojas, J.; Rosell, C.; Benedito, C.; Pérez-Munuera, I.; Llunch, M. (2000) El proceso de horneado de panecillos de trigo seguido de criomicroscopía electrónica de barrido. *European Food Research and Technology*, 212: 57-63.
- Rojas, J.; Rosell, P.; Benedito de Barber, C. (2019). Pasting properties of different wheat flour hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids*, 13, 27-33.
- Rosell, CM.; Collar, C.; Haros M. (2007). Evaluación de los efectos hidrocoloides en las propiedades termomecánicas del trigo utilizando el Mixolab. *Food Hydrocolloids*, 21, 452- 462.
- Sader, T. (2018). Enriquecimiento de panes sin gluten con mezclas proteicas (Tesis para optar el grado de Magister, Universidad de Valladolid). Valladolid -España. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/32131/TFM-L402.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, H.; Osella C.; De la Torre, M. (2002) Optimización de pan sin gluten elaborado a partir de almidón de maíz, harina de arroz y almidón de yuca. *J Food Sci* 67: 416–419.
- Sánchez, H.; González, R.; Torres, R.; De la Torre, M. (2008). Preparation of gluten-free bread with extruded rice farinha. *Food Science and Technology*, 6 (2): 109-116.
- Scheffé, H. (1958). Experimentos con mezclas. *Diario de la Sociedad Real de Estadística*, 20: 344-360.
- Schmidt, H. (2017). *Avances en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Chile: Alfabeta impresiones; 1(2): 198-199
- Schober, T.; Messerschmidt, M.; Bean, S.; Park, S.; Arendt, E. (2005). Gluten-free bread from sorghum: quality differences among hybrids. *Cereal Chemistry*, 82: 394-404.

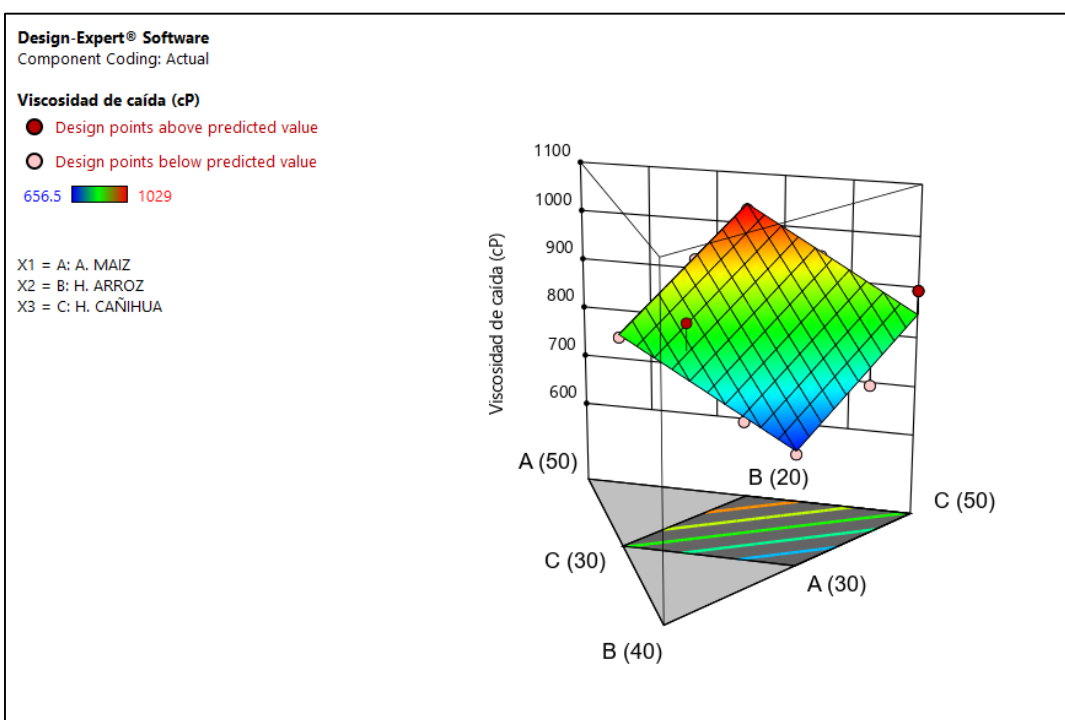
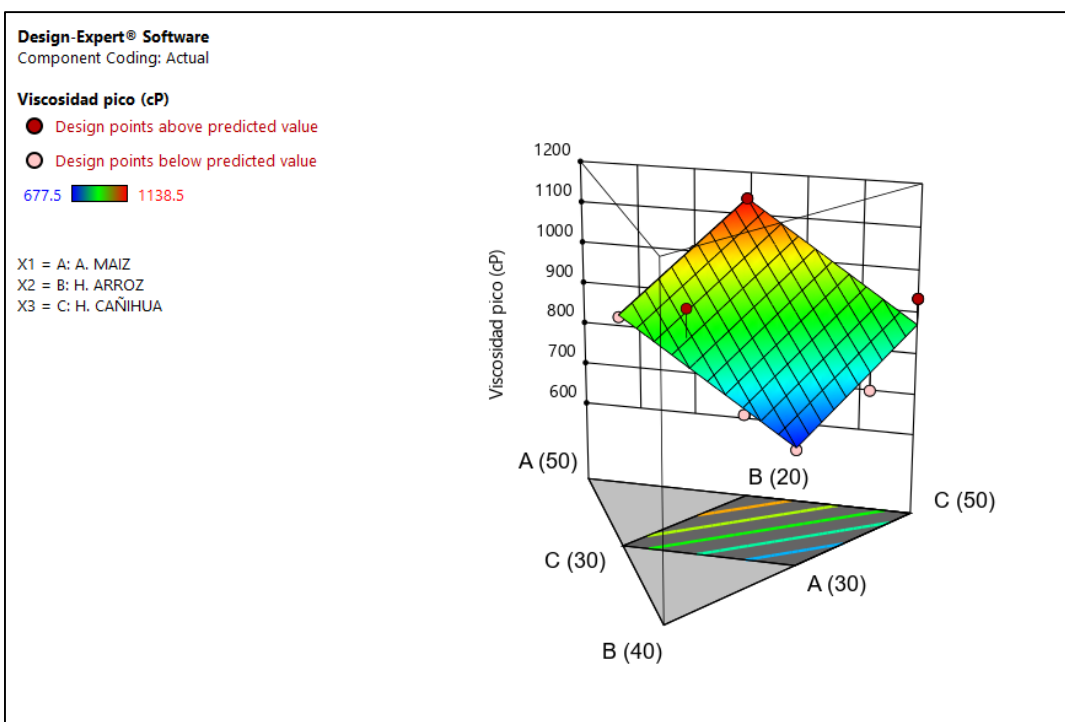
- Schober, T. (2009) Fabricación de panes especiales y productos de confitería sin gluten. In: Gallagher E (ed) *Gluten-free food science and technology*. Wiley-Blackwell, Dublin, 1(2): 130–180.
- Sciarini, L.; Ribotta, P.; León, A.; Pérez, G. (2010) Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties and bread quality. *Food Bioprocess Tech* 3(1): 577-585
- Sciarini, L. (2012). Estudio del efecto de diferentes aditivos sobre la calidad y la conservación de panes libres de gluten (Tesis doctoral, Universidad de la Plata). Recuperada de <https://core.ac.uk/download/pdf/15759828.pdf>
- Sinani, V; Sana, M.; Seferi, E; Sinani, A. (2014). El impacto de la calidad del agua natural en los productos de panadería en Albania. *Journal of Water Resource and Protection* 6(18): 1659-1665. doi:10.4236/jwarp.2014.618149.
- Serpil, S. & Servet, S. (2006). *Physical Properties of Foods (Middle Eas)*. Ankara, Turkey
- StatPoint (2006). *Diseño de Experimentos – Diseños de Mezclas*. Disponible en: http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/file.php/322/DDE__Disenos_de_Mezclas.pdf.
- Stefan, E.; Voicu, G; Constantin, G.; Ferdes, M; Muscalu, G. (2016). El efecto de la dureza del agua 124 en el comportamiento reológico de la masa. *Journal of Engineering Studies and Research* 21(1). DOI:10.29081/jesr.v21i1.46
- Tapia, M. & Morón, C. (2014). Valor Nutritivo de los Cultivos Andinos Sobreexplotados. En: *Cultivos Andinos Sobreexplotados y su aporte a la alimentación*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 1(2): 112-134.
- Thompson, T. (2000). Folate, iron, and dietary fiber content of the gluten-free diet. *J Am Diet Assoc* 100(1) :1389-1395.
- Thompson, T.; Dennis, M.; Higgins, L.; Lee, A.; Sharret, M. (2005) Dieta sin gluten encuesta: ¿los estadounidenses con enfermedad celíaca consumen las cantidades recomendadas de fibra, hierro, alimentos con calcio y cereales? *J Hum Nutr Dietetics* 18(1): 173–179.
- Torbica, A., Hadnadev, M. & Hadnadev, T. (2012). Rice and Buckwheat Flour Characterisation and its Relation to Cookie Quality. *Food Research International*, 48(1): 277-283.

- Torres, R.; González, R.; Sánchez, H.; Osella, C.; De la Torre; M. (2015). Performance of rice varieties in making bread without gluten. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 49(1):162-165
- Turabi, E; Sumnu, G; Sahin, S. (2008). Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids* 22(2):305-312. doi:10.1016/j.foodhyd.2006.11.016
- Valencia, F. (2015). "Harina de Arroz y la Elaboración de pan con Levadura Natural". Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/17622/1/TESIS%20FINAL.pdf>
- Vaquero, L.; Álvarez, B.; Rodríguez, L.; Aparicio, M.; Jorquera, F.; Olcoz, J.; Vivas, S. (2015). Revisión de patologías relacionadas con la ingesta de gluten. *Nutrición Hospitalaria*. 31(6): 2359-2371
- Vera, C. (2010). Optimización de pan sin gluten elaborado a partir de almidón de maíz, Costa Rica, 1(2): 256
- Vidaurre, J. (2020). Desarrollo de panes libres de gluten con harinas de granos andinos (Tesis Para Optar el Grado de Doctor en Ciencia de Alimentos, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4374/vidaurre.ruiz-julio-mauricio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wagner, M.; Lucas, T.; Le Ray, D. & Trystram, G. (2007) Water transport in bread during baking. *Journal of Food Engineering* 78: 1167–1173.
- Watts, B.; Ylimaki, G.; Jeffrey, L.; Elias, L. (2016). *Métodos sensoriales Básicos para la evaluación de Alimentos*. Ottawa. Ont. CIID. 170 p.
- Wieser, H.; Konitzer, K. & Koheler, P. (2012). AACC International Society. *Cereal Foods World*. 57(5):201-248. Canadá.
- Yazynina E.; Johansson, M.; Jägerstad, M.; Jastrebova, J. (2008) Low folate content in productos de cereales sin gluten y sus principales ingredientes. *Food Chem* 111: 236–242
- Yuru, B.; Xianlun, W. (2011). Investigación sobre las influencias del agua en la calidad de la masa congelada. *Procedia Ciencias Ambientales* 8:313-318. doi: 10.1016/j.proenv.2011.10.050.
- Zanoni, B.; Peri, C. (1993). A study of the bread-baking process. I: A phenomenological model. *Journal of Food Engineering* 19(4):389-398. doi: 10.1016/0260-8774(93)90027-H.

- Zhang, L.; Huang, S.; Ananingsih, V.; Zhou, W.; Chen, X. (2014). Un estudio sobre la viabilidad de *Bifidobacterium lactis* Bb12 en pan durante la cocción. *Journal of Food Engineering* 122(1):33-37. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.08.029
- Zhou, Zegarra, S. (2018). Preparation of a bread suitable for celiacs based on *Chenopodium pallidicaule aelle* (cañihua) flour and evaluation of its sensory acceptability (Tesis para optar el Grado de Doctor en Nutrición. Universidad San Ignacio de Loyola). Lima – Perú.
- Zegarra, S.; Muñoz, A.; Ramos, F. (2019). Preparação de um pão sem glúten à base de farinha de cañihua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*) e avaliação da aceitabilidade sensorial. *Revista chilena de nutrición*. 46 (5). Santiago-Chile. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182019000500561
- Zhou, L.; Robards, M.; Blanchard, M. (2003). Efecto del almacenamiento de arroz sobre las propiedades de pasta de la harina de arroz. *Food Research International*, 36 (6): 625-634.
- Ziobro, P; Juszczak, L; Witczak, L; Korus, J. (2016). Proteínas sin gluten como agentes formadores de estructura en pan sin gluten. *Journal of Food Science and Technology* 53(1): 571–580.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Diseño gráfico en tres dimensiones de las propiedades reológicas cuyos componentes son almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua



Design-Expert® Software

Component Coding: Actual

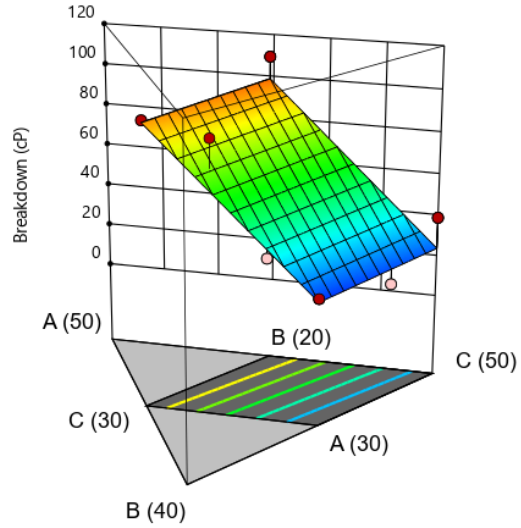
Breakdown (cP)

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

14.5  109.5

X1 = A: A. MAIZ
X2 = B: H. ARROZ
X3 = C: H. CAÑIHUA



Design-Expert® Software

Component Coding: Actual

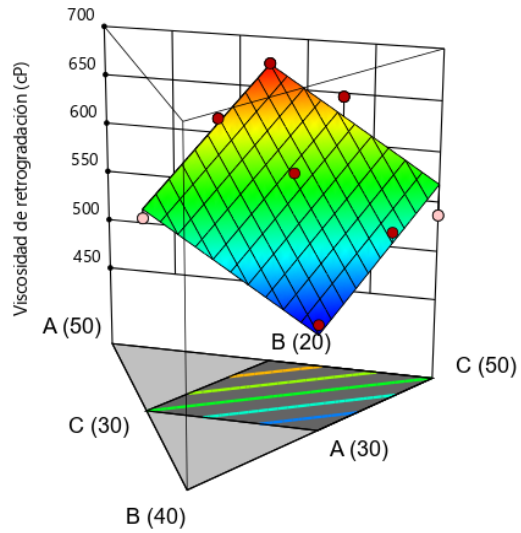
Viscosidad de retrogradación (cP)

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

472.5  674.5

X1 = A: A. MAIZ
X2 = B: H. ARROZ
X3 = C: H. CAÑIHUA



Design-Expert® Software

Component Coding: Actual

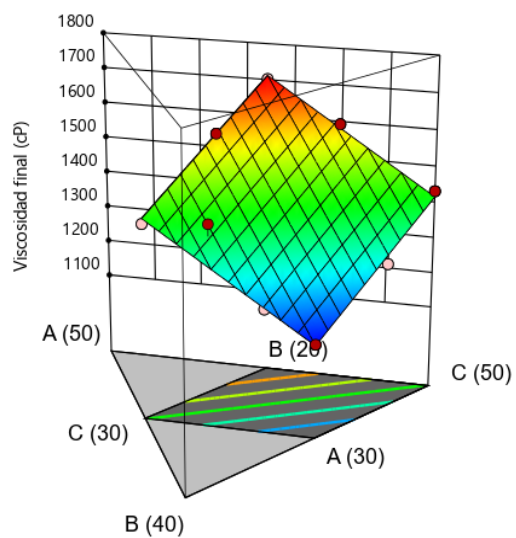
Viscosidad final (cP)

● Design points above predicted value

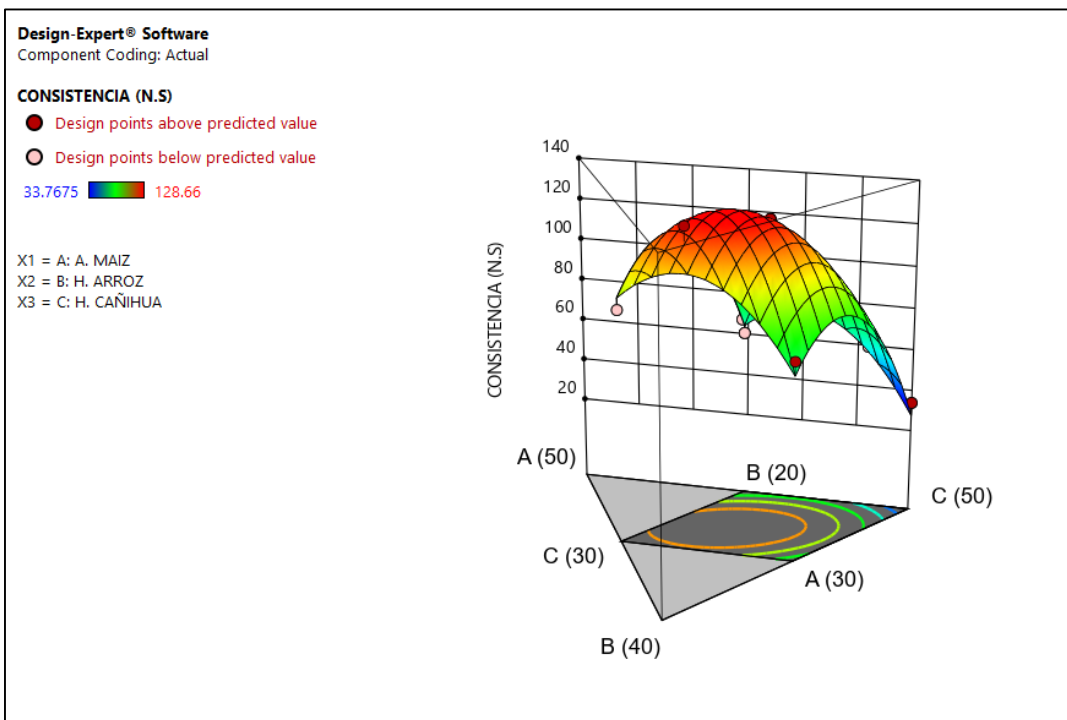
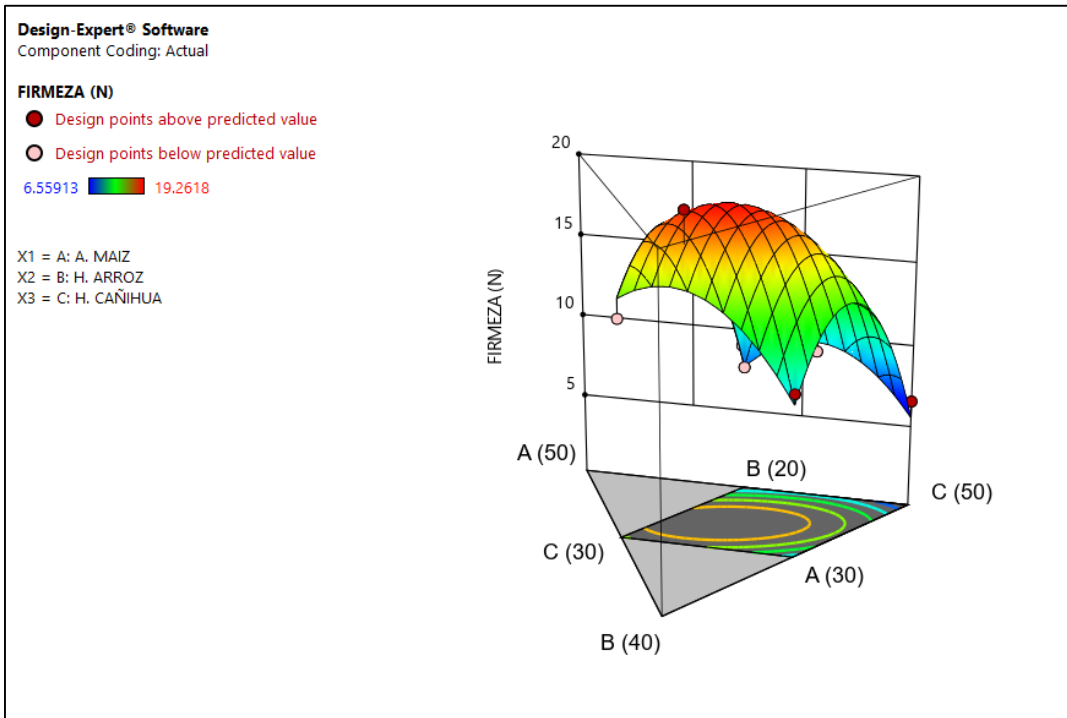
○ Design points below predicted value

1129  1703.5

X1 = A: A. MAIZ
X2 = B: H. ARROZ
X3 = C: H. CAÑIHUA



ANEXO 2: Diseño gráfico en tres dimensiones de las propiedades de textura del batido de pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua



Design-Expert® Software
Component Coding: Actual

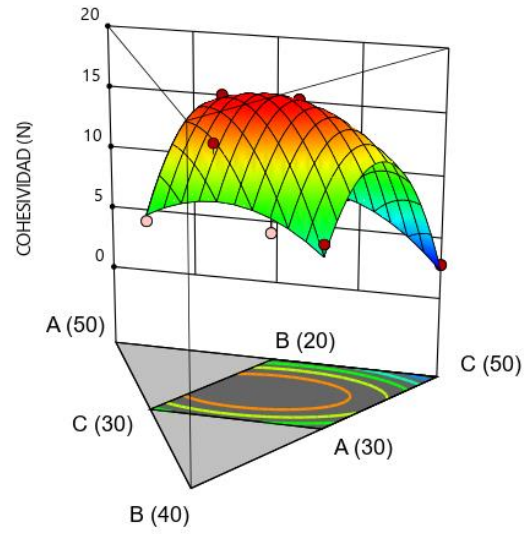
COHESIVIDAD (N)

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

2.78498  16.65

X1 = A: A. MAIZ
X2 = B: H. ARROZ
X3 = C: H. CAÑIHUA



Design-Expert® Software
Component Coding: Actual

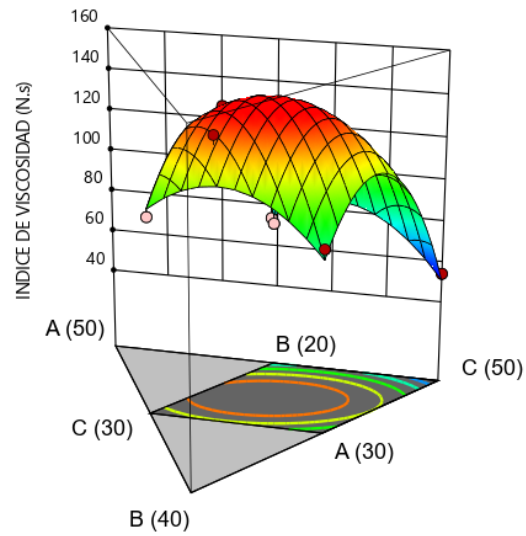
INDICE DE VISCOSIDAD (N.s)

● Design points above predicted value

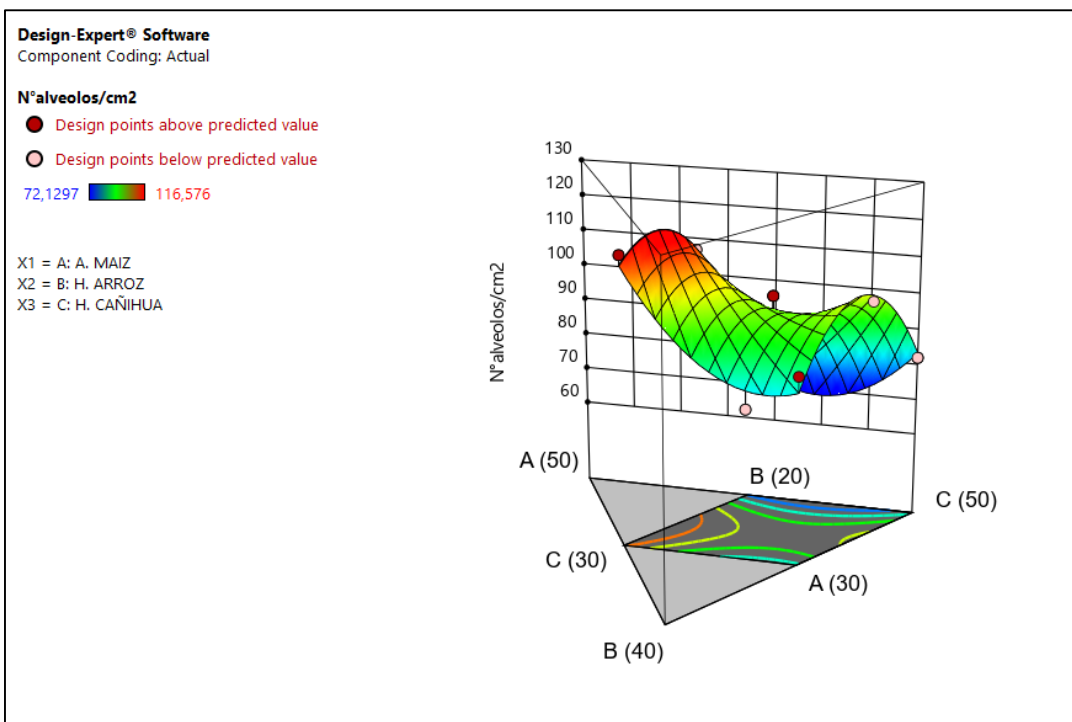
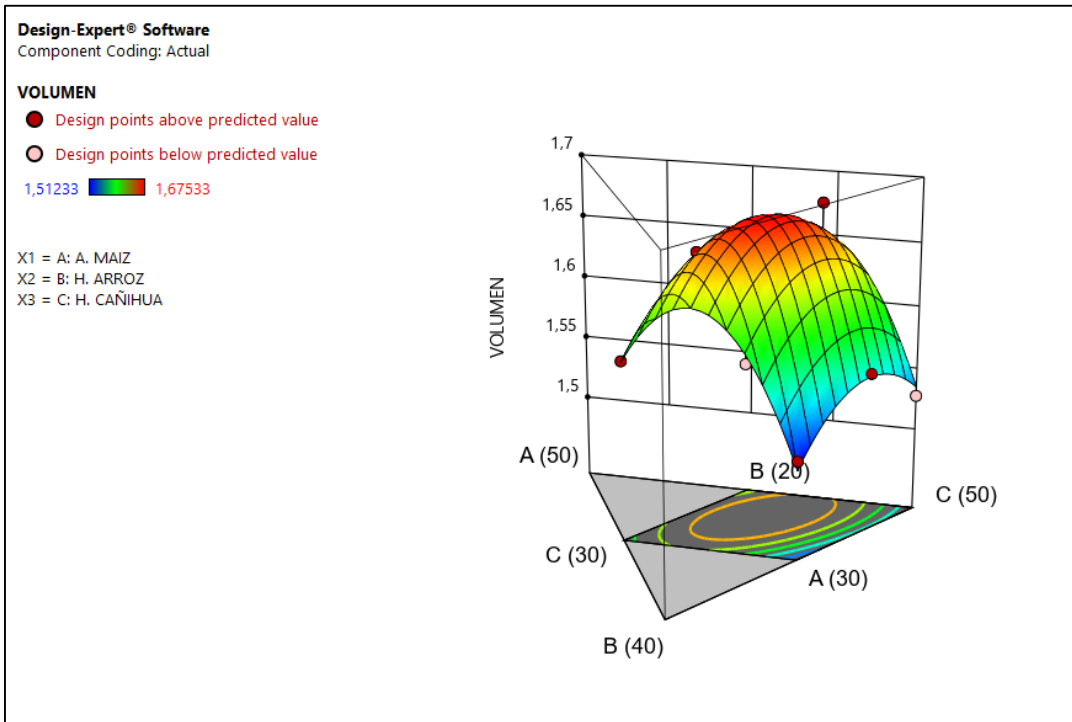
○ Design points below predicted value

53.9103  138.14

X1 = A: A. MAIZ
X2 = B: H. ARROZ
X3 = C: H. CAÑIHUA



ANEXO 3: Diseño gráfico en tres dimensiones de las variables respuesta del pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua



Design-Expert® Software
Component Coding: Actual

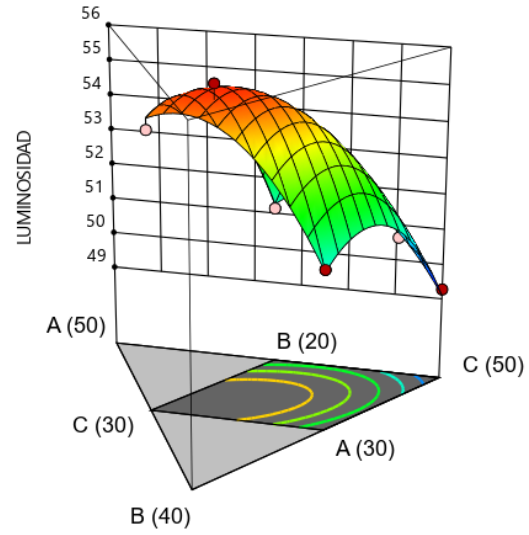
LUMINOSIDAD

● Design points above predicted value

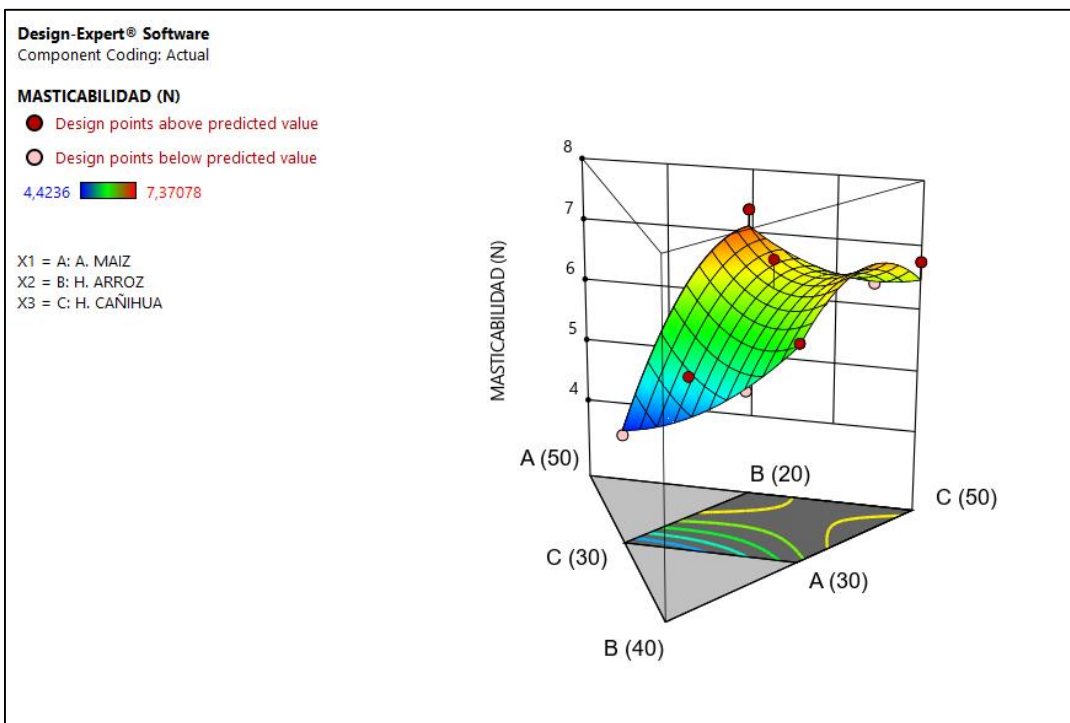
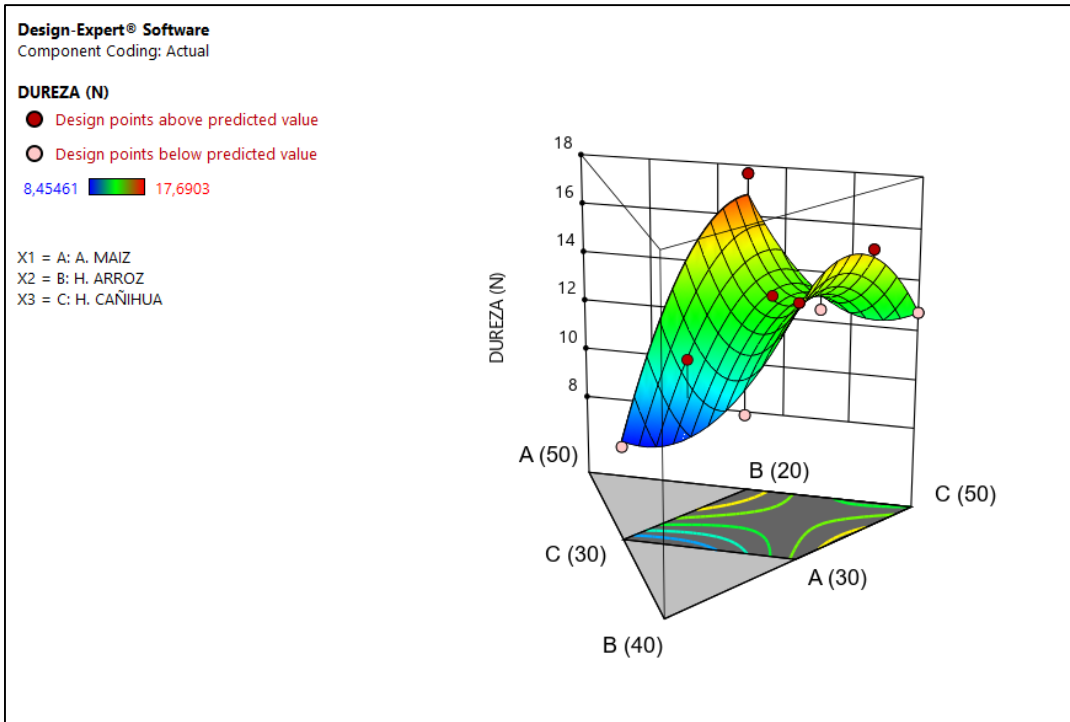
○ Design points below predicted value

49,272  55,588

X1 = A: A. MAIZ
X2 = B: H. ARROZ
X3 = C: H. CAÑIHUA



ANEXO 4: Diseño gráfico en tres dimensiones de las propiedades de textura del pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua



Design-Expert® Software
Component Coding: Actual

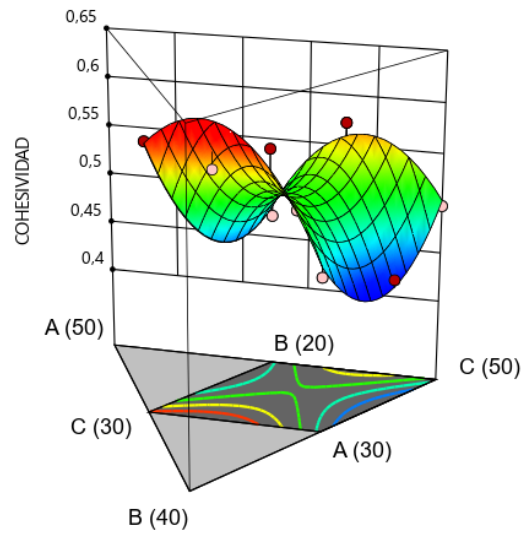
COHESIVIDAD

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

0,440099  0,5875

X1 = A: A. MAIZ
X2 = B: H. ARROZ
X3 = C: H. CAÑIHUA



Design-Expert® Software
Component Coding: Actual

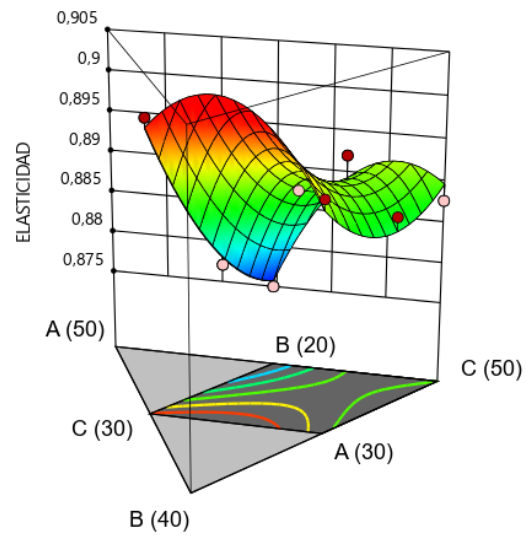
ELASTICIDAD

● Design points above predicted value

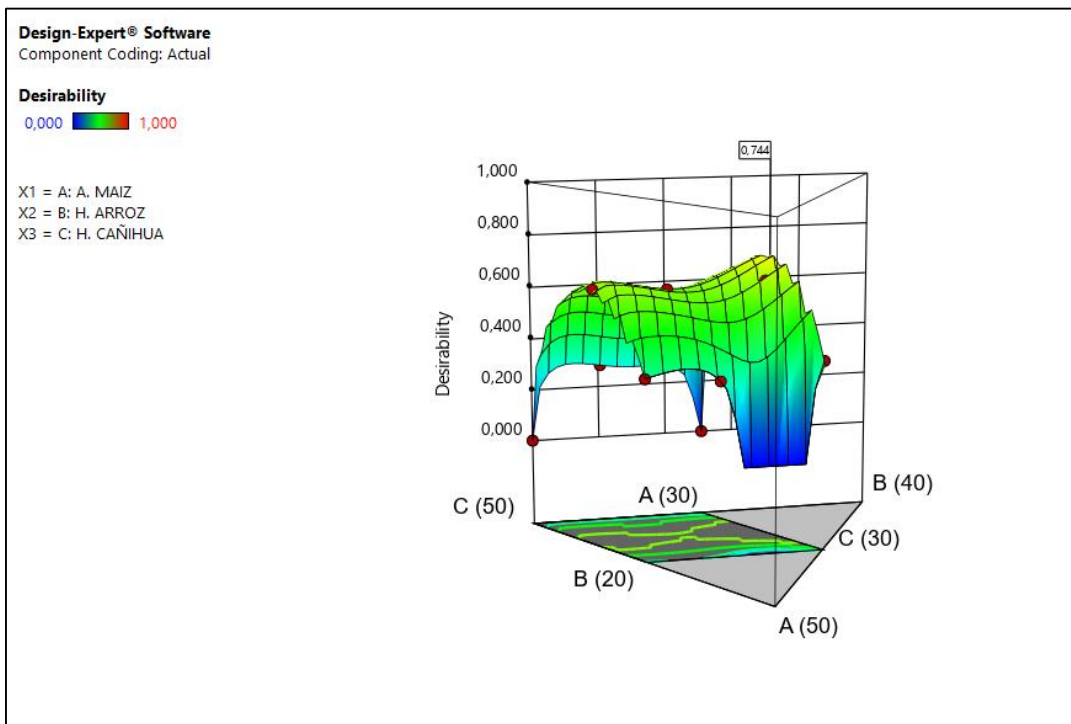
○ Design points below predicted value

0,875  0,9

X1 = A: A. MAIZ
X2 = B: H. ARROZ
X3 = C: H. CAÑIHUA



ANEXO 5: Diseño gráfico en tres dimensiones de la deseabilidad con respecto a las variables respuesta del pan libre de gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua



ANEXO 6: Formulaciones óptimas de panes libre de gluten obtenidas por el software Desing Expert de la deseabilidad con respecto a las variables respuesta

Mn	A. M.	H. A.	H. C.	VE (mL/g)	Dureza (N)	Lumino- sidad	D.E. (n°alveolos /cm²)	Deseabili- dad
1	35,72	30,00	34,29	1,62	9,25	54,54	89,91	0,74
2	35,39	20,95	43,66	1,66	13,39	52,53	77,77	0,66
3	35,44	20,00	44,57	1,65	13,03	51,72	68,72	0,64

Mn: formulaciones óptimas; A.M.: almidón de maíz; H.A.: harina de arroz; H.C.: harina de cañihua; Variables respuesta; V.E.: volumen específico; D.E.: densidad alveolar, Luminosidad

ANEXO 7: Imágenes del proceso de elaboración del pan libre de gluten óptimo a base de almidón de maíz, harina de arroz y harina de cañihua

