

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“INFLUENCIA DE LA GERMINACIÓN SOBRE LOS AZÚCARES
REDUCTORES EN QUINUA Y SU EFECTO EN LOS ATRIBUTOS
TECNOLÓGICOS DEL PAN”**

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

ASHLEY ARLETT PEÑA ABREGÚ

LIMA – PERÚ

2020

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

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

**“INFLUENCIA DE LA GERMINACIÓN SOBRE LOS AZÚCARES
REDUCTORES EN QUINUA Y SU EFECTO EN LOS ATRIBUTOS
TECNOLÓGICOS DEL PAN”**

Presentado por:

ASHLEY ARLETT PEÑA ABREGÚ

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Sustentado y aprobado ante el siguiente Jurado:

Dr. Marcial I. Silva James
PRESIDENTE

Dra. Indira M. Betalleluz Pallardel
MIEMBRO

Mg. Sc. Mirtha P. Martínez Tapia
MIEMBRO

Mg. Sc. Julio M. Vidaurre Ruiz
ASESOR

Mg. Sc. Víctor D. Delgado Soriano
CO-ASESOR

Lima – Perú

2020

DEDICATORIA

A mis padres, Alejandrina y Eduardo,
por darme la vida y siempre confiar en mí.

A mis hermanos, Karen y Giordy,
por su compañía y apoyo incondicional.

A mi abuelita, Nico,
por su preocupación y ser mi ejemplo de perseverancia.

A mi abuelito, Horticiano,
que a pesar que hace varios años no me acompaña físicamente, sé que estaría muy
orgullosa de este logro.

A mi alma mater, UNALM,
por enseñarme tanto y darme una pasión, la industria alimentaria, para toda la vida.

AGRADECIMIENTO

- A mi familia, mis padres y mis hermanos, quienes me apoyaron incondicionalmente a lo largo de este camino para convertirme en ingeniera.
- A la Ph.D. Ritva Repo, por su orientación, paciencia, aportes y gran disposición durante el desarrollo del presente trabajo.
- Al Ph.D. Luis Fernando Vargas, por su apoyo y por las gestiones para tener acceso a los laboratorios en los diferentes horarios
- Al Mg. Sc. Julio Vidaurre por el apoyo en la etapa final de esta investigación.
- Al Mg. Sc. Víctor Delgado, por su constante apoyo, motivación y paciencia durante el desarrollo del presente trabajo. Por enseñarme que a veces el tiempo es el mejor aliado.
- A la Ing. Sheila Juárez, por siempre recibirme en su oficina con los brazos abiertos y por absolver todas mis dudas sobre los diferentes análisis.
- A la Ing. Liz Ávila, Ing. Zahara Prudencio, Tec. Erick Contreras, Tec. Juan Maihuire y Sr. Máximo Zuñiga, por su paciencia y amabilidad cada vez que usaba los laboratorios que dirigen.
- Al “team quinua”, Ing. Esteban Gutiérrez, Bach. Blanca Ruiz y Cristian Velásquez, por su valioso apoyo en la parte preliminar de esta investigación.
- A mis mejores amigos de la universidad, Akira y Claudia, “Mermelachix”, por demostrarme que las verdaderas amistades no necesitan verse todos los días para seguir vigentes. A Maria José Yzásiga y Juan Manuel Ferrer por su constante apoyo.
- Al Centro de Investigación e Innovación en productos derivados de Cultivos Andinos (CIINCA), por brindarme sus instalaciones para la realización de la experimentación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	
ABSTRACT	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 QUINUA	3
2.1.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL	3
2.1.2. VARIEDADES DE QUINUA DEL PERÚ.....	6
2.1.3. PRODUCCIÓN NACIONAL	10
2.2. GERMINACIÓN	11
2.2.1. CONDICIONES Y CAMBIOS DURANTE LA GERMINACIÓN	13
2.3. CARBOHIDRATOS	14
2.3.1. CARBOHIDRATOS EN LA QUINUA.....	15
2.4. PAN	17
2.4.1. CLASIFICACIÓN DEL PAN	17
2.4.2. INSUMOS PRINCIPALES EMPLEADOS EN PANES	19
2.4.3. PRINCIPALES ETAPAS EN LA ELABORACIÓN DE PAN	23
2.4.4. HARINAS SUCEDÁNEAS EN REEMPLAZO PARCIAL DE HARINA DE TRIGO EN PANIFICACIÓN	32
2.5. EVALUACIÓN SENSORIAL	35
2.5.1. PRUEBAS AFECTIVAS	36
2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO EMPLEADO EN LA EVALUACIÓN SENSORIAL DE ALIMENTOS	39

2.6.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD	40
2.6.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA PREFERENCIA PAREADA	42
III. METODOLOGÍA.....	43
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	43
3.2. MATERIALES.....	43
3.2.1. MATERIA PRIMA E INSUMOS	43
3.2.2. REACTIVOS	44
3.2.3. MATERIALES	45
3.2.4. EQUIPOS	46
3.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS	47
3.3.1. PRUEBAS FÍSICOQUÍMICAS	47
3.3.2. PRUEBAS SENSORIALES.....	54
3.3.3. ELECCIÓN DEL MEJOR PAN	55
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	55
3.4.1. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE QUINUA GERMINADA	55
3.4.2. ELABORACIÓN DE PAN DE MOLDE.....	57
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	59
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	61
3.6.1. PARA LA COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	61
3.6.2. PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL	61
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
4.1. MATERIA PRIMA	63
4.1.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.....	63

4.2. GERMINACIÓN.....	70
4.2.1.EFECTO SOBRE LA HUMEDAD	71
4.2.2.EFECTO SOBRE EL PESO.....	72
4.2.3.ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS.....	73
4.3. HARINA DE QUINUA GERMINADA	80
4.3.1.ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS	80
4.4. PANES.....	82
4.4.1.ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS.....	84
4.4.2 ANÁLISIS QUÍMICO	93
4.4.3 ANÁLISIS SENSORIAL.....	94
4.5. ELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL MEJOR PAN	98
4.5.1.ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS.....	100
V. CONCLUSIONES.....	109
VI. RECOMENDACIONES.....	110
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	111
VIII. ANEXOS	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis químico proximal de quinua (100% base seca).....	4
Tabla 2: Antinutrientes presentes en la quinua.....	5
Tabla 3: Composición nutricional y contenido de saponinas de la variedad de quinua Pasankalla (100% base seca)	8
Tabla 4: Composición nutricional y contenido de saponinas de la variedad de quinua Negra Collana (100% base seca).....	9
Tabla 5: Contenido de almidón y azúcares en quinua germinada (g/100g)	16
Tabla 6: Composición nutricional del pan de molde en España y Perú (100 g).....	19
Tabla 7: Parámetros para determinar la categoría de la quinua.....	49
Tabla 8: Formulación de panes.....	57
Tabla 9: Análisis físicos realizados a quinua Pasankalla y Negra Collana	63
Tabla 10: parámetros para determinar la calidad de granos de quinua	68
Tabla 11: Tabla comparativa de análisis químico proximal, de calcio y energético de materias primas (100% base seca).....	68
Tabla 12: Tabla comparativa de análisis químico proximal, de calcio y energético de quinua Pasankalla sin germinar y germinada 32 h (100% base seca)	75
Tabla 13: Análisis físicos realizados a la quinua Pasankalla germinada 32h.....	78
Tabla 14: Análisis físicos realizados a la harina de quinua Pasankalla germinada 32 h y harina de trigo.....	80
Tabla 15: Volumen específico y dimensiones de las cuatro formulaciones.....	84
Tabla 16: Esfuerzo requerido para la deformación (expresado en gf) de las cuatro formulaciones	87
Tabla 17: Coordenadas de color CIEL*a*b* en la corteza y miga de las cuatro formulaciones	88
Tabla 18: Determinación de pH, acidez y rendimiento de las cuatro formulaciones de pan	91
Tabla 19: Determinación del contenido de AR de las cuatro formulaciones de pan.....	93
Tabla 20: Puntaje promedio otorgado por los panelistas para cada una de las cuatro formulaciones de pan.....	95
Tabla 21: Cantidad de panelistas que prefirieron cada una de las dos formulaciones con mejor aceptabilidad en los cuatros atributos evaluados (color, olor, sabor y textura).....	96

Tabla 22: Determinación del análisis del perfil de textura del producto final	101
Tabla 23: Tabla comparativa de análisis químico proximal, de calcio y energético de la mejor formulación (20%) y del Control (100% base seca).....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Semillas de quinua pasankalla	7
Figura 2. Semillas de quinua negra collana.....	9
Figura 3. Producción nacional y regional de quinua (2008-2017)	10
Figura 4. Producción mensual de quinua (agosto 2017-julio 2018).....	11
Figura 5. Fases de la germinación	13
Figura 6. Reacciones en la glucólisis.....	27
Figura 7. Fermentación alcohólica	27
Figura 8. Fermentación láctica	29
Figura 9. Fermentación butírica.....	30
Figura 10. Fermentación acética.....	30
Figura 11. Clasificación de pruebas sensoriales	37
Figura 12. Dimensiones en una semilla de quinua	48
Figura 13. Dimensiones en un pan de molde.....	51
Figura 14. Gráfica del análisis de perfil de textura donde (a) es la dureza, (b) la adhesividad, (d)/(c) es la cohesividad, (f)/(e) es la elasticidad, (a)x(d)/(c) es la gomosidad y (a)x(d)x(f)/((c)x(e)) es la masticabilidad.	52
Figura 15. Escala usada en la evaluación de la aceptabilidad	54
Figura 16. Diagrama de flujo para la obtención de la harina de quinua germinada	56
Figura 17. Diagrama de flujo para la elaboración de pan de molde de quinua	58
Figura 18. Esquema experimental	60
Figura 19. Prueba de poder germinativo quinua (a) pasankalla y (b) negra collana, y prueba de sensibilidad al agua (c) pasankalla y (d) negra collana	65
Figura 20. Humedad de quinua pasankalla y negra collana a 0, 8, 16, 24, 32, 40 y 48 horas de germinación	71
Figura 21. Pesos finales (g) de quinua pasankalla y negra collana a 0, 8, 16, 24, 32, 40 y 48 horas de germinación.....	72
Figura 22. Contenido de azúcares reductores (expresado g glucosa/100g quinua) de quinua pasankalla y negra collana a 0, 8, 16, 24, 32, 40 y 48 horas de germinación.....	73
Figura 23. Quinua pasankalla a diferentes tiempos de germinación	79

Figura 24. Panes obtenidos con las cuatro formulaciones 15% harina de quinua germinada, 20% harina de quinua germinada, 25% harina de quinua germinada y 0% harina de quinua germinada, respectivamente.	83
Figura 25. Imagen 3d de los cuatro panes con porcentajes de sustitución (15, 20 y 25%) y control, obtenida por topografía láser.....	85
Figura 26. Migas de panes obtenidos con las cuatro formulaciones (15, 20 y 25% de sustitución, y control)	90
Figura 27. Muestras de las cuatro formulaciones de pan que fueron entregadas a los panelistas	95
Figura 28. Puntaje obtenido por cada formulación para cada atributo	99
Figura 29. Gráfica del análisis de perfil de textura de la mejor formulación (pan con 20% harina de quinua germinada), donde (a) es la dureza, (b) la adhesividad, (d)/(c) es la cohesividad, (f)/(e) es la elasticidad, (a)x(d)/(c) es la gomosidad y (a)x(d)x(f)/((c)x(e)) es la masticabilidad.....	104
Figura 30. Contenido de compuestos fenólicos totales ⁽¹⁾ (expresado en mg eag/100g quinua) de quinua pasankalla, quinua pasankalla germinada por 32 h y pan 20%.....	107

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: FICHAS TÉCNICAS DE LOS INSUMOS EMPLEADOS	133
ANEXO 2: DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS TOLERANCIAS EN QUINUA... 139	139
ANEXO 3: DETERMINACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES (MILLER, 1959 Y CORTÉS ET AL., 2013)	139
ANEXO 4: FORMATO USADO EN LA PRUEBA DE ACEPTABILIDAD	143
ANEXO 5: FORMATO USADO EN LA PRUEBA DE PREFERENCIA PAREADA...	144
ANEXO 6: COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE HARINA DE TRIGO Y HARINA DE QUINUA PASANKALLA GERMINADA 32 H	145
ANEXO 7: PRUEBA DE DURBIN Y MÉTODO DE SCHEFFÉ PARA LA EVALUACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD	148
ANEXO 8: PRUEBA DEL SIGNO PARA LA EVALUACIÓN DE LA PREFERENCIA PAREADA	154
ANEXO 9: MUESTRAS DE PAN QUE FUERON ENTREGADAS A LOS PANELISTAS	175

RESUMEN

Los objetivos de esta investigación fueron evaluar el tiempo de germinación en el cual se generó el mayor contenido de azúcares reductores (AR) en dos variedades de quinua y determinar el porcentaje de harina de quinua germinada (HQG) en panes que tuviera tanto una buena aceptación sensorial (color, olor, sabor y textura) como atributos tecnológicos aceptables (volumen específico (VE), esfuerzo requerido para la deformación (ER) y color similares o superiores a los de un pan cien por ciento harina de trigo). La investigación se desarrolló en tres etapas; en la primera, dos variedades de quinua se germinaron a seis diferentes tiempos (8, 16, 24, 32, 40 y 48 h) y se determinó el contenido de AR mediante el método de colorimetría del ácido dinitrosalicílico. Los resultados mostraron que durante la germinación se generaron AR por hidrólisis del almidón (principalmente), teniendo a la quinua germinada Pasankalla (QGP) por 32 h como la variedad que generó el mayor contenido de AR (19.62 g glucosa/100 g de quinua) respecto a la quinua germinada Negra Collana 32 h, a un nivel de significancia de 95%. En la segunda etapa, se molió la QGP y se elaboraron panes con tres niveles de sustitución de HQG (15, 20 y 25%), y un Control, determinándoseles los atributos tecnológicos ya mencionados y evaluación sensorial (prueba de aceptabilidad seguida de preferencia pareada). Como resultado de esta etapa, se determinó que el pan con 20 por ciento de HQG fue el mejor, puesto que tuvo una buena aceptación sensorial y, además presentó VE=2.37 mL/g, ER=429.66 gf y color aceptable. Finalmente, la tercera etapa consistió en caracterizar este tratamiento mediante análisis fisicoquímicos, compuestos fenólicos totales y análisis de perfil de textura. La aplicación de HQG en niveles de sustitución de 20% permitió obtener panes con buenos atributos de calidad y sensoriales.

Palabras clave: Quinua, germinación, azúcar reductor, pan, volumen, aceptabilidad.

ABSTRACT

The aims of this research were to evaluate the germination time in which the highest content of reducing sugars (RS) was generated in two varieties of quinoa and to determine the percentage of sprouted quinoa flour (SQF) in breads that had both sensory good acceptance (color, smell, taste and texture) and acceptable technological attributes (specific volume (SV), strain required for deformation (SD) and color similar to or greater than those of hundred percent wheat flour bread). The research was developed in three stages; in the first, two varieties of quinoa were sprouted at six different times (8, 16, 24, 32, 40 and 48 h) and the RS content was determined by the colorimetry method of dinitrosalicylic acid. The results showed that during germination, RS were generated by starch hydrolysis (mainly), taking sprouted quinoa Pasankalla (SQP) for 32 h as the variety that generated the highest content of RS (19.62 g glucose / 100 g quinoa) in regard to the sprouted quinoa Negra Collana 32 h, at a level of significance of 95%. In the second stage, the SQP was milled and breads were made with three levels of SQF substitution (15, 20 and 25%), and a Control, determining them the technological attributes already mentioned and sensory evaluation. (acceptability test followed by paired preference test). As a result of this stage, it was determined that the bread with 20 % SQF was the best, since it had a good sensory acceptance and also presented $SV = 2.37 \text{ mL / g}$, $SD = 429.66 \text{ gf}$ and acceptable color. Finally, the third stage was to characterize this treatment with physicochemical analysis, total phenolic compounds and texture profile analysis. The application of SQF in substitution levels of 20% allowed to obtain breads with good quality and sensory attributes.

Keywords: quinoa, germination, reducing sugar, bread volume, acceptability.

I. INTRODUCCIÓN

Es imposible referirse a la historia de la humanidad sin mencionar al pan, puesto que es uno de los alimentos básicos en todos los hogares desde hace miles de años debido a su sabor y versatilidad. Según López *et al.* (2009), sus vestigios datan desde el Neolítico, Sin embargo, se considera a los egipcios como precursores de la industria de la panificación, pues fueron quienes descubrieron las bondades de la fermentación en masas e inventaron los primeros hornos (Mesas, 2002).

Actualmente, el mundo de la panificación está muy desarrollado y es cada vez más exigente. No hay que ir muy lejos, como ejemplo se tiene a un gran exponente en Latinoamérica: Chile, el segundo mayor consumidor de pan del mundo (el primero es Alemania con 106 kilos per cápita), cuyo consumo de pan en sus diversas presentaciones bordea los 90 kilos per cápita de forma anual (SERNAC, 2016). Asimismo, en el Perú, al año 2017, el consumo per cápita de pan bordeaba los 35 kilos con tendencia a crecer 6 kilos más en los próximos años (Arteta *et al.*, 2017). Cabe resaltar que el consumo de panes saludables y con alto valor nutricional es el que presentó el mayor incremento en los últimos años (Arteta *et al.*, 2017, y Jurado, 2016). Por este motivo, el mercado actual se encuentra en la búsqueda constante de harinas sucedáneas con mayor valor nutricional y que puedan reemplazar los componentes que se emplean en la elaboración, pero que son considerados perjudiciales como la azúcar refinada, cuyo elevado consumo se asocia a diversas patologías como sobrepeso, obesidad, alteraciones hepáticas, desórdenes del comportamiento, etc. (Constanza *et al.*, 2015).

La quinua (*Chenopodium quinoa* W.) es un grano andino milenario que ha formado parte de la dieta de los pobladores originarios del Perú. Actualmente, esta es considerada un alimento de alta calidad y rica fuente vegetal de proteínas. Cabe resaltar que existe una amplia gama de variedades de quinua las cuales difieren en su composición. Para esta investigación, se buscó variedades con alto contenido de azúcares reductores como la Pasankalla y Negra Collana (Estrada *et al.*, 2013), para poder aprovechar su mayor contenido de azúcares disponibles durante la fermentación en la panificación.

La germinación de los granos andinos ha sido sugerida como un método mucho más barato y efectivo que otros métodos tradicionales para aumentar el contenido de energía y también de nutrientes en los alimentos destinados a la alimentación (Bravo *et al.*, 2013; Paucar *et al.*, 2017). Algunos de los efectos atribuidos a la germinación son el incremento de antioxidantes, compuestos fenólicos, azúcares reductores, entre otros, teniendo como resultado un alimento más nutritivo (Carciochi *et al.*, 2016; Lemmens *et al.*, 2018). Por este motivo, el desarrollo de productos germinados ha ido en aumento y más que aumentar su producción, actualmente se busca formas de darle aún más valor agregado.

Es por ello que este trabajo tuvo como objetivos determinar el tiempo de germinación en el cual se generaba el mayor contenido de azúcares reductores en dos variedades de quinua (Pasankalla y Negra Collana), y evaluar el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de quinua germinada en panes que tenga tanto una buena aceptación sensorial (en términos de color, olor, sabor y textura) como atributos tecnológicos aceptables (volumen específico, esfuerzo requerido para la deformación y color similares o superiores a los de un pan 100 por ciento harina de trigo).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 QUINUA

La quinua/quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) es un cultivo emergente mundial y buena fuente nutritiva de proteína vegetal de calidad, con aproximadamente 16 por ciento de proteína en base seca (en promedio). Debido al elevado contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, la quinua es considerada como el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales que se encuentran cerca de los estándares de nutrición humana establecidos por la FAO (2011).

Nutricionalmente, las proteínas de quinua son superiores a las proteínas de cereales que normalmente están limitadas en lisina. Sin embargo, existen pocos estudios acerca de sus azúcares reductores y fibra; la mayoría se enfoca en sus proteínas. En quinua, el contenido de almidón es 58.1- 64.2 por ciento, este también ha sido muy poco estudiado (Repo-Carrasco *et al.*, 2003).

2.1.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL

La composición química de la quinua varía según diversos factores como el ecotipo, variedad, madurez biológica, localización del cultivo y composición del suelo (Huamán, 2011). A continuación, se presenta la Tabla 1 con la composición química de la quinua procedente de diferentes departamentos del Perú (Junín, Puno, Apurímac, Cusco y Ancash), según Blanco *et al.* (2001).

La gran ventaja nutritiva de la quinua respecto a los cereales y leguminosas es la calidad de sus proteínas y la clase de aminoácidos que la componen, principalmente ricos en lisina y azufrados (Huaman, 2011). Se ha comprobado que todos los aminoácidos (esenciales y no esenciales) componentes de una proteína particular deben estar presentes en los tejidos antes de la síntesis.

Tabla 1: Análisis químico proximal de quinua (100% base seca)

Componente	Unidad	Rangos
Proteína	%	12.6 – 15.6
Grasa	%	4.5 – 7.4
Carbohidratos	%	58.5 – 77.5
Fibra	%	2.8 – 4.7
Ceniza	%	2.0 – 3.5
Humedad	%	9.4 – 14.4

FUENTE: Blanco *et al.* (2001)

Al mencionar calidad de proteínas se refiere a la medida en que los aminoácidos de la dieta pueden utilizarse para la síntesis proteica (Martínez y Martínez, 2006).

Sin embargo, dentro de la composición de la quinua no solo se encuentran componentes beneficiosos, sino también se encuentran antinutrientes, sustancias capaces de disminuir e incluso impedir la absorción y utilización de los nutrientes por nuestro organismo (Riera, 2011), como las saponinas, ácido fítico, taninos e inhibidores de tripsina (Aldana, 2019). En la Tabla 2, se muestran los antinutrientes mencionados y los rangos en los que se pueden encontrar en la quinua.

Según Aldana (2019), la saponina es un compuesto que tiene una estructura muy compleja formada por un núcleo esteroideal hidrofóbico (sapogenina) y una parte hidrofílica. La saponina de la quinua es del tipo glucósido triterpenoide y está ubicada en las primeras membranas (Mosquera, 2009) y le proporciona el carácter amargo. Cabe resaltar que este amargor puede ser eliminado con un simple lavado en agua fría o por vía seca mediante escarificación.

Es importante mencionar que además del amargor que genera en el grano, la saponina podría afectar la biodisponibilidad de los nutrientes. Además, en altas concentraciones produce la hemólisis de los glóbulos rojos, así como irritaciones en mucosas intestinales (Aldana, 2019). De lo mencionado, la quinua puede ser clasificada, según su concentración de

saponina, en dulce (sin saponina o con menos del 0.11 por ciento en base húmeda), o amarga (contiene un nivel mayor al 0.11 por ciento en base húmeda) (Mosquera, 2009).

Tabla 2: Antinutrientes presentes en la quinua

Antinutriente	Unidad	Contenido
Saponina	mg/g	9.0 – 21.0
Ácido fítico	mg/g	4.7 – 10*
Taninos	%	0.5
Inhibidores de tripsina	ppm	1.4 – 5.0

FUENTE: Aldana (2019), Pacheco (2016), *Frontela (2007)

Según Riera (2011), el ácido fítico es un antinutriente que puede inhibir de forma significativa la absorción de minerales mediante la formación de complejos insolubles con minerales de interés nutricional como el hierro no hemo, el calcio y el zinc, impidiendo así su absorción y alterando de este modo la homeostasis mineral. Sin embargo, el consumo de ácido fítico no sólo tiene efectos negativos sobre la salud, se sabe que también tiene gran capacidad de inhibir la formación de radicales hidroxilo catalizados por el hierro al unirse al hierro libre y bloquear de este modo la reacción. En la quinua, el ácido fítico se encuentra en promedio en 1.15 - 1.20 por ciento, dependiendo de la variedad.

Según Isaza (2007), los taninos pueden clasificarse en hidrolizables o pirogálicos, condensados y florotaninos. En general, estos son compuestos fenólicos solubles en agua, con pesos moleculares entre 500 y 3000, que además de dar las reacciones fenólicas usuales, tienen propiedades especiales tales como la habilidad de precipitar alcaloides, gelatina y otras proteínas. Otros autores como Villacrés *et al.* (2013) mencionan que los taninos tienen importancia organoléptica, nutricional, fisiológica y farmacológica. Su capacidad para formar complejos con las proteínas es el origen de sus múltiples propiedades. Existen investigaciones que demuestran que la presencia de estos compuestos inhibe la acción de enzimas y microorganismos en el rumen, limitan la degradación de nutrientes y reducen la producción de ácidos grasos como productos finales de la degradación. En la quinua, los taninos se encuentran en forma abundante en los extractos acuosos de hojas de quinua y su

presencia es moderada en los extractos alcohólicos y acuosos de los granos de quinua. Cabe resaltar que estos compuestos desaparecen por efecto del procesamiento.

Según FAO (2011), los inhibidores de la tripsina son aquellos que inhiben la actividad de la tripsina segregada por la glándula exocrina del páncreas. Estos inhibidores pueden ser encontrados en la quinua. Sin embargo, estudios realizados por la FAO indican que la cantidad por unidad de muestra es muy baja, 1.36 a 5.04 UTI/ml de muestra de quinua, muy por debajo de la encontrada en la soya (24.5 UTI/ml). Además, el inhibidor de la tripsina presente en la quinua es termolábil y fácilmente inactivado por el tratamiento del calor.

2.1.2. VARIEDADES DE QUINUA DEL PERÚ

El Perú es un país con una gran diversidad y muchos pisos ecológicos, hecho que permite la diferenciación del cultivo de quinua por regiones o zonas agroecológicas, las mismas que son descritas por Tapia (2001). Así pues, se pueden llegar a establecer variedades del altiplano y de valles interandinos; muchas de estas, a pesar de no ser utilizadas con frecuencia, siguen teniendo vigencia. Entre las variedades de quinua más conocidas y estudiadas se tiene:

- INIA-415 Pasankalla
- INIA-420 Negra Collana
- INIA-427 Amarilla Sacaca
- INIA-431 Altiplano
- Kancolla
- Blanca de Juli
- Blanca de Junín
- Blanca de Hualhuas
- Salcedo – INIA
- Amarilla Marangani

La amplia gama de variedades de quinua difiere principalmente en su composición (Estrada *et al.*, 2013). En la búsqueda de seleccionar las mejores variedades para ser germinadas, se describen dos de las tres variedades (Pasankalla, Negra Collana y Hualhuas) que poseen mayor contenido de azúcares reductores, resaltando que estos últimos permiten asegurar en las semillas un suministro importante de energía para los procesos de germinación (Valencia *et al.*, 2017).

a. PASANKALLA

La quinua Pasankalla es una variedad de color de grano plumizo a rosado (Figura 1), de sabor dulce, período vegetativo tardío, con gran aceptación en el mercado externo por sus cualidades de transformación y elevado contenido de proteína. (Mujica y Chura, 2012)



Figura 1. Semillas de quinua Pasankalla

Rosas (2015) indica que la quinua Pasankalla es una variedad liberada en el año 2006, obtenida por selección planta surco de ecotipos de una localidad de Puno. El proceso de mejoramiento se realizó entre los años 2000 al 2005, en el ámbito de la Estación Experimental Agraria (EEA) Illpa-Puno, por el Programa Nacional de Investigación en Cultivos Andinos. Su mejor desarrollo se logra en la zona agroecológica Suni del altiplano entre los 3800 y 3900 m.s.n.m. y soporta un clima frío seco.

Algunos puntos a resaltar de esta variedad son su gran potencial para la agroindustria, alta productividad, siendo su rendimiento potencial 4.5 tn/ha (Rosas, 2015). Sin embargo, el propio INIA (2016) menciona que tiene un rendimiento medio de 3.54 tn/ha.

Apaza *et al.* (2013) mencionan que los principales usos de esta quinua son el consumo tradicional como sopas, ensaladas, guisos, postres, panecillos y bebidas; consumo agroindustrial como expandida, perlada, laminada, molienda y extruida, principalmente.

A continuación, en la Tabla 3 se presenta la composición de esta variedad de quinua:

Tabla 3: Composición nutricional y contenido de saponinas de la variedad de quinua Pasankalla (100% base seca)

Componente	Unidad	Contenido
Humedad	%	9.88
Proteínas	%	17.62
Fibra cruda	%	2.10
Azúcares reductores	g de glucosa/100 g de muestra	4.07
Cenizas	%	2.13
Grasa	%	5.94
Saponina	%	0.00

FUENTE: Apaza *et al.* (2013), Estrada *et al.* (2013).

b. NEGRA COLLANA

La quinua Negra Collana es una variedad de amplia base genética, está compuesta de 13 accesiones provenientes de 12 localidades, comúnmente conocidas como “Quyту jiwras”; comercialmente se le asigna el nombre de INIA 420 - NEGRA COLLANA, y es el resultado de pruebas de identificación, adaptación y eficiencia desarrolladas participativamente con productores de siete comunidades campesinas de la Región Puno (Rosas, 2015).

Uno de los puntos a resaltar de esta variedad de quinua coloreada de grano negro (Figura 2) es su constitución, ya que posee litio, potasio, calcio, hierro, magnesio y zinc, entre otros elementos, cuya ingestión, según Mujica (2008), permite disminuir la ansiedad. Torres y Chávez (2016) mencionan que el alto contenido de litio la hace un buen regulador del estrés y depresión.



Figura 2. Semillas de quinua Negra Collana

A continuación, en la Tabla 4 se presenta la composición de esta variedad de quinua:

Tabla 4: Composición nutricional y contenido de saponinas de la variedad de quinua Negra Collana (100% base seca)

Componente	Unidad	Contenido
Humedad	%	10.00
Proteínas	%	17.85
Fibra cruda	%	1.89
Azúcares reductores	g de glucosa/100 g de muestra	3.35
Cenizas	%	2.20
Grasa	%	9.82
Saponina	%	0.015

FUENTE: INIA (2016a), Estrada *et al.* (2013).

2.1.3. PRODUCCIÓN NACIONAL

a. PRODUCCIÓN NACIONAL DE QUINUA

La quinua es un grano andino que se produce desde la época de los incas en el Perú. Algunos antecedentes respecto a su producción son que en los años noventa, esta cayó por debajo de las 20 mil toneladas y recién a partir del último siglo comenzó su revalorización alimenticia (MINAGRI, 2017).

En el año 2010, la producción de quinua superó las 40 mil toneladas; en el 2012, las 44 mil y en el 2013, las 50 mil. La tendencia creciente de producción de quinua duró hasta el año 2014, ya que después de este año la producción declinó por dos años consecutivos, para finalmente tener un ligero crecimiento en el 2017. Cabe resaltar que por más que la tendencia no haya sido completamente creciente en la última década, los niveles de producción se han mantenido muy por encima de lo que se producía hasta el 2013, año internacional de la quinua, y lo más importante, es que se logró una mejora en la calidad de esta (MINAGRI, 2017).

A continuación, en la Figura 3 se muestra la producción de quinua nacional en las principales regiones del Perú en los últimos diez años.

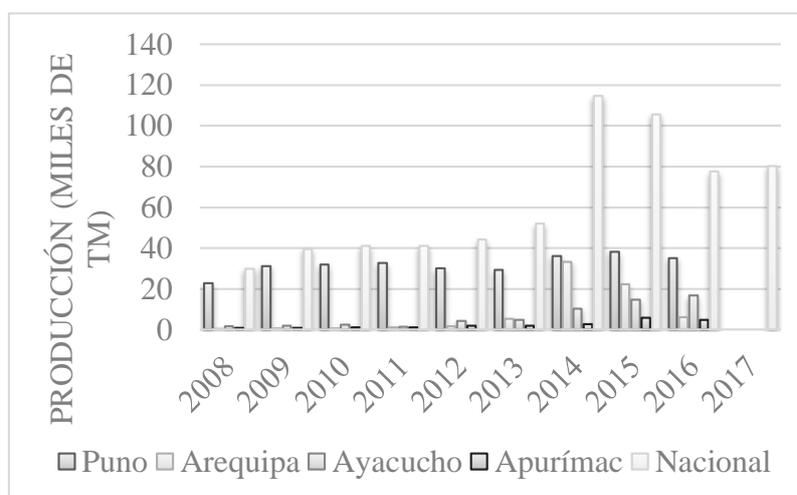


Figura 3. Producción nacional y regional de quinua (2008-2017)

FUENTE: INEI (2018) y MINAGRI (2017)

Sin embargo, recién desde septiembre 2016 se le incluyó como indicador económico de producción agropecuaria en los informes técnicos de producción nacional que emite mensualmente el INEI.

b. PRODUCCIÓN MENSUAL DE QUINUA

La quinua es un cultivo estacional, según el calendario de siembras y cosechas del MINAGRI (2017), entre los meses de abril y junio se acumula cerca del 88 por ciento de la producción total nacional, destacando la zona productora de Puno que cosecha su mayor producción en abril y mayo, mientras que Ayacucho la concentra entre marzo y junio.

En la Figura 4, se muestra la producción de quinua en el período agosto 2017- julio 2018.

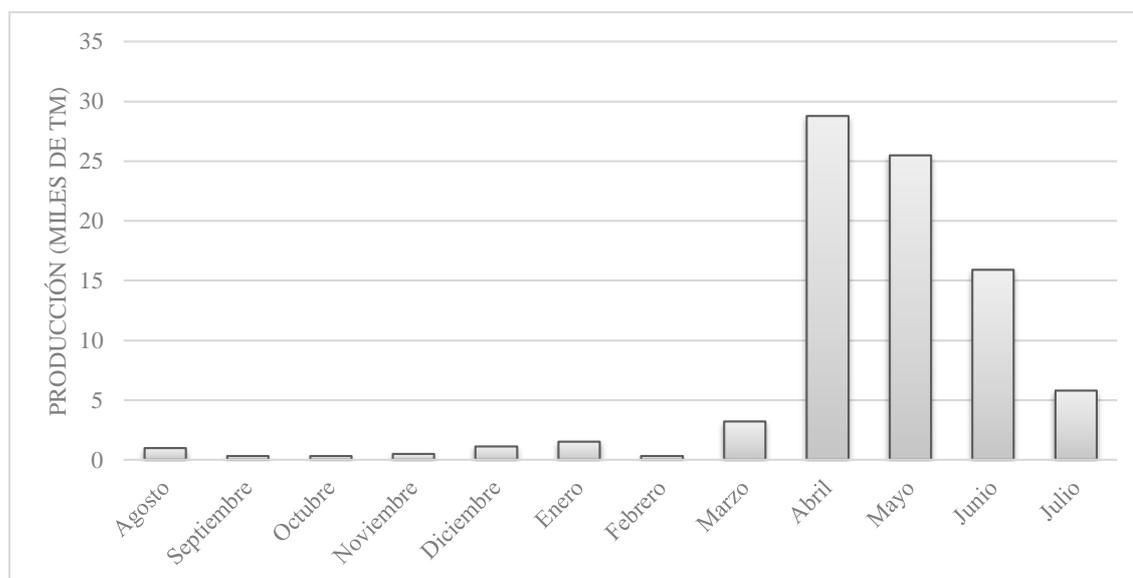


Figura 4. Producción mensual de quinua (agosto 2017-julio 2018)

FUENTE: INEI (2018) y MINAGRI (2017)

2.2. GERMINACIÓN

La germinación como fuente de alimentos es uno de los procesos más antiguos usado desde hace siglos. Sus inicios se remontan a China, en el año 3000 a. C., cuando el emperador Shen Nong Ben Cao Jing incentivaba a su pueblo al consumo diario de germinados de legumbres.

Chinos y japoneses germinaron especialmente la soja, el denominado mungo, y la cebada; para usarlos como suplemento fijo en su alimentación (Ponce de León *et al.*, 2011).

Actualmente, los germinados son considerados la máxima manifestación de lo vivo gracias a su fuerza de crecimiento, además de proteínas de gran valor biológico. Poseen efectos desintoxicantes y reconstituyentes que ayudan que el cuerpo se mantenga sano. Son uno de los alimentos más ricos en enzimas, vitaminas, minerales y oligoelementos. Además, son fácilmente asimilables. Los granos malteados ofrecen una alternativa interesante para aumentar el contenido de energía y también de nutrientes en los alimentos destinados a la alimentación, sobre todo en países de extrema pobreza (Silerio y Gómez, 2003).

Dentro de los procesos tecnológicos aplicados a los granos andinos se encuentran aquellos que emplean calor, humedad, presión, trituración, etc. Sin embargo, estos dañan sustancialmente el valor nutricional del grano. La germinación emplea la biotecnología (tratamiento enzimático) para la obtención de azúcares más sencillos, además de aportar más nutrientes como son las proteínas, las cuales aumentan, al mismo tiempo que sus aminoácidos, lográndose mayor digestibilidad y mayor eficiencia de utilización (Bravo *et al.*, 2013)

Cruz (2017) definen a la germinación como una secuencia de eventos que dan como resultado la transformación de un embrión en estado quiescente en una plántula que inicia con la toma de agua por parte de la semilla seca (imbibición) y termina cuando una parte de esta (eje embrionario en el caso de la quinua) atraviesa las estructuras envolventes que la rodean (crecimiento). Arenas y Heredia (2017) proponen que esta posee tres fases (Figura 5):

- 1) Imbibición: Proceso de absorción de agua por la semilla que se da por las diferencias de potencial hídrico (mátrico) entre la semilla y la solución de imbibición. En esta fase, el tejido de reserva absorbe agua a una velocidad intermedia hasta completar su hidratación. Cabe resaltar que un mayor tiempo de remojo perjudicaría el estado del grano, por lo que se recomienda disminuir el tiempo de remojo a menos de ocho horas (Bravo *et al.*, 2013).
- 2) Activación enzimática: En esta fase se da una reducción considerable de la absorción de agua para dar inicio a transformaciones metabólicas necesarias para el completo desarrollo de la plántula.

- 3) Crecimiento: Fase asociada con la emergencia de la radícula y paralelamente un incremento de la actividad metabólica ocurriendo una nueva actividad de absorción de agua.

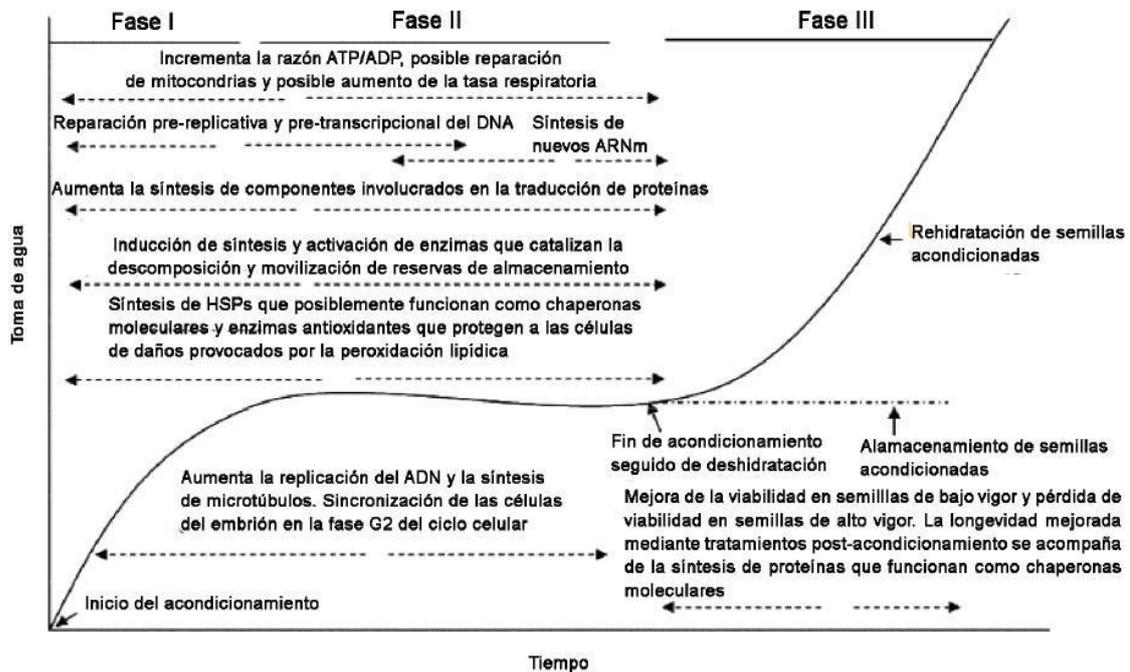


Figura 5. Fases de la germinación

FUENTE: Bewley (1997)

Por su parte, Román (2000) considera que la germinación está marcada por cuatro fases:

- 1) Absorción del agua por el embrión
- 2) Activación de enzimas
- 3) Desarrollo de tejidos embrionarios
- 4) Ruptura de la pared del embrión por el germen

Este último autor divide la fase de crecimiento en dos subfases (punto 3 y 4).

2.2.1. CONDICIONES Y CAMBIOS DURANTE LA GERMINACIÓN

Durante la germinación, las semillas necesitan ciertas condiciones ambientales favorables, como la presencia de oxígeno, luz, temperatura, y la humedad que determinan el desarrollo del olor y el sabor de los germinados; entre las modificaciones en la composición, se pueden

apreciar variaciones de los carbohidratos solubles y de las proteínas, lo que origina una mejora en el valor nutritivo de los germinados (Dávila *et al.*, 2003 y Pamplona, 1999).

Según Álvarez (2012), los cambios que ocurren durante la germinación se pueden resumir de la siguiente manera:

- Cambios morfológicos: El crecimiento de raicillas y tallos es continuo durante el remojo y la germinación. El crecimiento embrionario se inicia durante el remojo, pero como las reservas de nutrientes están limitadas, se movilizan entonces las del endospermo que son abundantes, lo que se logra a través de enzimas que degradan las proteínas, el almidón y las paredes celulares.
- Cambios histológicos: Desaparición de la pared celular del endospermo por efecto de las enzimas y ablandamiento del grano.
- Cambios metabólicos: Degradación de proteínas y almidón hasta compuestos más simples y solubles.
- Formación y liberación de enzimas: De este cambio depende de manera directa o indirectamente todos los otros cambios.

La aplicación de la germinación en semillas de quinua aumenta significativamente las propiedades antioxidantes (compuestos fenólicos) en comparación con las semillas sin germinar. Se tienen investigaciones acerca del incremento del ácido ascórbico y tocoferoles totales en semillas germinadas después de 72 h en comparación con semillas crudas. Además, los componentes antioxidantes muestran una fuerte correlación positiva con la germinación. Así, el proceso de germinación ofrece una excelente estrategia para producir ingredientes enriquecidos con compuestos promotores de la salud en una manera que se puede utilizar en la formulación de alimentos funcionales (Carciochi *et al.*, 2016).

2.3. CARBOHIDRATOS

Los carbohidratos se pueden presentar bajo diversas formas, ya sea como monosacáridos (azúcares más simples), oligosacáridos (aquellos que contienen de dos a diez unidades de monosacáridos) y polisacáridos (más de diez monosacáridos). Los monosacáridos pueden

ser aldosas (presencia de grupo aldehído) o cetosas (presencia de grupo cetona). Todos los monosacáridos y la mayoría de los disacáridos son azúcares reductores (a excepción de la sacarosa debido a que uno de sus dos carbonos anoméricos no está formando enlace glucosídico) (Pamplona, 1999).

2.3.1. CARBOHIDRATOS EN LA QUINUA

El contenido de almidón en la quinua puede variar entre 42 y 68 por ciento del total del grano siendo menor que en otros granos como el maíz o el trigo, donde se tienen porcentajes de 60 y 70 por ciento respectivamente. Este se presenta en gránulos pequeños, en promedio de 2 μm y se encuentra en el perisperma, a diferencia del almidón de maíz y papa que se encuentra en el endospermo y miden en promedio 30 y 140 μm , respectivamente. Cabe resaltar que la importancia del tamaño radica en que esta influencia directamente la calidad de las masas de panificación y pastificación (Murgueytio, 2014).

El tamaño del gránulo del almidón variaba entre 0.81 y 1.45 micras para las variedades Cheweca colorada y blanca respectivamente, y las temperaturas de gelatinización de inicio y de final para la primera fueron de 56.5 y 68.5°C y para la última 58 y 72°C (Huapaya, 2014). De manera general, la temperatura de gelatinización del almidón de quinua varía en un rango de 55.5 - 72°C y presenta una excelente estabilidad a la congelación y retrogradación (Repo Carrasco *et al.*, 2003).

La microscopía electrónica de barrido revela que el almidón de quinua presenta unas especies ovales grandes de alrededor de 20 μm de largo, compuestos de cientos de gránulos individuales, donde varios de estos compuestos agregados existen dentro de cada célula del endospermo. En cuanto a los azúcares libres, estos pueden llegar al 6.2 por ciento; la fibra insoluble, al 5.31 por ciento; la soluble, al 2.49 por ciento y la dietética total, 7.8 por ciento (Romo *et al.*, 2006).

En comparación con algunos cereales como el trigo (7 - 27 por ciento) y el arroz (23.7 por ciento), la quinua tiene bajo contenido de amilosa (9 - 19 por ciento, según la variedad). Respecto a la amilopectina, para la variedad Tunkahuan, el contenido es de 95.46 por ciento (Egas *et al.*, 2010).

a. CARBOHIDRATOS EN LA QUINUA GERMINADA

Durante la germinación de la quinua, se sabe que se incrementan las cantidades de azúcares reductores o simples por la hidrólisis del almidón y luego disminuyen al ser consumidos apoyando el crecimiento el embrión. Según Ramírez (2015), existen tres sistemas enzimáticos encargados de degradar el almidón:

- α -amilasa: Ataca a los enlaces α -(1,4) de la amilosa y amilopectina del almidón, descendiendo el tamaño de las moléculas originales.
- β -amilasa: Degrada a los productos resultantes de la hidrólisis primaria de la α -amilasa (dextrinas) produciéndose unidades de maltosa.
- Dextrinasas: Hidrolizan los enlaces α -(1,6) produciendo la glucosa a partir de maltosa.

Durante el secado la mayoría de estos azúcares reaccionan con los aminoácidos libres para formar melanoidinas y la sacarosa se incrementa debido a que las enzimas actúan en reverso formando disacáridos a medida que el agua es eliminada (Nieto, 1984).

Según León y Rosell (2007), la quinua presenta una mayor facilidad de germinación que granos como la kiwicha y kañihua, y a diferencia de los otros dos granos, el aumento de la glucosa y la maltosa en el primer día de germinación es considerable. Además, presenta disminución del contenido de almidón con el paso de los días (Tabla 5).

Tabla 5: Contenido de almidón y azúcares en quinua germinada (g/100g)

Días de germinación	Glucosa	Almidón
0	1.7	48
1	20.0	46
2	15.0	41
3	14.0	40

FUENTE: Repo-Carrasco (1992)

2.4. PAN

Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (2018), la palabra pan deriva del latín *panis* y hace referencia al alimento que consiste en una masa de harina, por lo común de trigo, levadura y agua, cocida en un horno.

Según INDECOPI (2011), el pan es el producto obtenido por la cocción de una masa debidamente desarrollada por un proceso de fermentación, hecha con harina de trigo y que puede ser mezclada con harinas sucedáneas. Entiéndase por masa desarrollada al resultado obtenido de la mezcla de la esponja con los demás ingredientes en un proceso controlado de fermentación. Entiéndase además por esponja a aquella masa que al sufrir un proceso de fermentación alcohólica alcanza un grado óptimo de madurez y elasticidad.

Otros autores como Mesas y Alegre (2002) definen al pan como 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*, es decir, se requieren como mínimo cuatro insumos principales (harina, sal, agua y levadura) para obtener un pan.

Cabe resaltar que el pan es considerado como el más universal de todos los productos de panificación, de hecho, es el principal alimento derivado del trigo. Tal es su importancia que el logo de la FAO está basado en una espiga de trigo y en el lema *Fiat panis* (Hágase el pan).

2.4.1. CLASIFICACIÓN DEL PAN

Según Mesas y Alegre (2002), los diferentes tipos de panes se pueden clasificar en dos grandes grupos, ya sea panes comunes o panes especiales. Los primeros se definen como aquellos de consumo habitual en el día, elaborados con harina de trigo, sal, levadura y agua, incluso con ciertos coadyuvantes tecnológicos y aditivos autorizados. Dentro de este tipo se incluyen al pan bregado y pan de flama. Los segundos se definen como aquellos que, por su composición, por incorporar algún aditivo o coadyuvante especial, por el tipo de harina, por otros ingredientes especiales (leche, huevos, grasas, cacao, etc.), por no llevar sal, por no

haber sido fermentado, o por cualquier otra circunstancia autorizada, no corresponden a la definición básica de pan común. Dentro de este tipo se incluyen al pan integral, pan de viena, pan de molde, pan de cereales, pan de huevo, etc.

Por su parte, la Reglamentación Técnico Sanitaria (RTS) para la fabricación, circulación y comercialización del pan y panes especiales mencionada por Hernández y Majem (2010), establece tres categorías de productos: pan común, pan especial y productos semielaborados, los mismos que se definen a continuación:

- Pan común: De consumo habitual en el día, elaborado con la harina de trigo y que cumpla los requisitos establecidos en el artículo 14 de la RTS y al que sólo se le pueden añadir los coadyuvantes tecnológicos y aditivos autorizados para este tipo de pan. (El artículo 14 establece que las materias primas harina, agua, levadura y sal cumplirán con lo dispuesto en sus vigentes RTS).
- Pan especial: Aquel pan no incluido en la definición anterior que reúna alguna de las siguientes condiciones, por su composición, que se haya incorporado cualquier aditivo y/o coadyuvante tecnológico de la panificación, que se haya utilizado como materia prima harina enriquecida, que se haya añadido cualquier ingrediente que eleve su valor nutritivo y/o que no lleve microorganismos propios de la fermentación (voluntariamente añadidos).
- Productos semielaborados: Aquellos en los que se ha interrumpido el proceso de elaboración en alguna de sus etapas intermedias.

En el mercado peruano, existen gran variedad de panes comerciales que utilizan mucho más que los cuatro insumos principales como, por ejemplo:

- Pan francés
- Pan de yema
- Pan hamburguesa
- Pan de leche
- Pan brioche
- Pan colisa
- Pan ciabatta
- Pan de molde

a. PAN DE MOLDE

Según Hernández y Majem (2010), se define al pan de molde o pan americano como aquel que tiene una ligera corteza blanda y que para su cocción ha sido introducido en un molde.

El pan de molde también se define como un producto de textura suave y esponjosa, miga con alveolos uniformes. En la formulación se le puede adicionar aditivos como los preservantes, emulsificantes y gomas vegetales para mejorar su textura (Ramos, 2016). A continuación, en la Tabla 6 se presenta la composición nutricional del pan de molde (en base húmeda):

Tabla 6: Composición nutricional del pan de molde en España y Perú (100 g)

Nutrientes	Unidad	Cantidad	
		España	Perú
Energía	kcal	255	317
Proteína	g	5.52	6.80
Grasa total	g	3.74	2.50
Glúcidos	g	53.25	69.20
Fibra	g	4.52	-
Calcio	mg	22.40	13
Hierro	mg	2.30	0.40

FUENTE: FUNIBER (2017)

2.4.2. INSUMOS PRINCIPALES EMPLEADOS EN PANES

a. HARINA DE TRIGO

La harina de trigo es el insumo más importante en todo producto de panificación, ya que afecta la funcionalidad y las características del producto terminado, dictamina parámetros

de procesamiento y requerimientos de algunos otros insumos. Según Gisslen (2002), su importancia se debe a que proporciona volumen y estructura a productos como panes, pasteles, galletas y pastelería fina. La funcionalidad es impartida principalmente por el contenido de proteína y/o fuerza del gluten. Solamente la harina de trigo tiene un gluten funcional una vez que es hidratado y mezclado (Othón, 2013).

Las características de la harina dependen de la clase de trigo de la que se obtenga, el lugar en que éste se haya cultivado y las condiciones de su crecimiento. En Estados Unidos se utilizan, por ejemplo, los trigos llamados duro rojo de primavera, duro rojo de invierno, blando rojo de invierno, moruno y blanco. El trigo duro contiene gran cantidad de las proteínas llamadas glutenina y gliadina, que juntas forman el gluten cuando la masa se hidrata y se amasa. Las harinas fuertes, es decir, las de trigos duros con alto contenido de proteínas, se utilizan principalmente en la elaboración de panes y otros productos de levadura. Las harinas débiles, es decir, las elaboradas con trigos blandos con bajo contenido de proteínas, son importantes en la producción de pasteles y galletas (Gisslen, 2002).

De manera general, Calaveras (2004) menciona algunas características que debe tener una buena harina:

- **Color.** Depende de la variedad del trigo, de la separación correcta de partículas en la molturación, del contenido de aditivos y de la cantidad de extracción (mayor o menor cantidad de partículas sucias).
- **Maduración.** Es sabido que la utilización de harinas recién molturadas acarrea problemas en panificación. Por tanto, actualmente los técnicos molineros, o bien las maduran químicamente, o bien las dejan reposar entre períodos de 10 o 15 días antes de entregarlas al panadero.
- **Blanqueo.** Normalmente basado en el efecto de oxidación de las harinas, bien porque la fabricación de harinas fuerce el colorido blanco de la harina por métodos químicos, o por la utilización, por parte del panadero, de un aditivo panificable con gran contenido de oxidante.

- **Absorción.** Se considera la propiedad de absorber la mayor cantidad de agua sin alterar la formulación de la masa y dando una buena calidad de pan, siendo éste uno de los puntos que concuerda con la hidratación de las masas. A su vez, esta depende de:
 - La granulometría, cuanto más fina, más absorción de agua.
 - La humedad relativa del ambiente, que cuanto más elevada sea, menos agua admite la harina.
 - La cantidad y calidad de las proteínas insolubles (gliadina y glutenina), que, cuanto mayor sea, conllevará mayor absorción de agua.
- **Fuerza.** Definida como la deformación de la masa por impulsión de aire, siendo un parámetro medido por el alveógrafo, que garantiza el poder de la harina para hacer panes de buena calidad.
- **Extracción.** Es la cantidad de harina obtenida de un grano de trigo limpio, sabiendo que, a mayor cantidad de extracción, se obtiene harinas con más cantidad de fibra y cenizas

b. AGUA

El agua es el segundo componente mayoritario de la masa y es el que hace posible el amasado de la harina. El agua hidrata la harina facilitando la formación del gluten; con ello y con el trabajo mecánico del amasado, se le confiere a la masa sus características plásticas: la cohesión, elasticidad, plasticidad y tenacidad. La presencia del agua en las masas es necesaria para el desarrollo de las levaduras que han de llevar a cabo la fermentación del pan (Isique, 2014).

Según Ramos (2016), otras de las funciones del agua en panificación son:

- Regular y controlar la temperatura de la masa y los tiempos de fermentación.
- Ser responsable de la humedad y volumen del pan.

- Hacer posible la acción de las enzimas.

Es importante que el agua se encuentre en una proporción adecuada y medida constantemente (cada vez que se incorpora a la masa), ya que las proteínas y los almidones la van integrando y absorbiendo, lo que hace que deje de ser agua y pase a formar parte de la masa (Figuerola, 2010). Además de la proporción y medida adecuada del agua, es muy importante su dureza. Para panificación, se recomienda usar agua medianamente dura y que contenga sales minerales suficientes para reforzar el gluten y así servir como sustrato para la levadura.

c. SAL

Su objetivo principal es dar sabor al pan. Además, es importante porque hace la masa más tenaz, actúa como regulador de la fermentación, favorece la coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención de agua en el pan (Isique, 2014).

Según Ramos (2016), otras de las funciones de la sal en panificación son:

- Fortalecer el gluten de la masa
- Resaltar los sabores de los ingredientes (como las masas dulces).
- Regular el consumo del azúcar en la masa.

d. LEVADURA

Según Isique (2014), en panificación, la levadura es el componente microbiano adicionado a la masa con el objetivo de hacerla fermentar, de modo que se produzca etanol y CO₂. Este CO₂ queda atrapado en la masa la cual se esponja y aumenta de volumen, fenómeno conocido como “levantamiento de la masa”.

Ramos (2016) menciona algunas de las principales funciones de la levadura en panificación:

- Provocar la generación y el mantenimiento de la producción de gas en el proceso de panificación.
- Permitir el acondicionamiento de la masa.
- Mejorar la calidad nutricional del producto terminado y activar la masa posibilitando un mejor manejo.
- Proporcionar sabor y aroma al pan permitiendo un mejor volumen y rendimiento.

2.4.3. PRINCIPALES ETAPAS EN LA ELABORACIÓN DE PAN

Antes de mencionar las principales etapas en la elaboración de pan, Cauvain (2012) menciona algunos puntos a considerar en la elaboración de productos de panificación, los mismos que se mencionan a continuación:

- La mezcla de la harina de trigo y agua, junto con la levadura y sal, y otros ingredientes debe realizarse en proporciones adecuadas.
- La aplicación correcta de la energía durante el amasado para el desarrollo de una buena estructura de gluten.
- La correcta incorporación de burbujas de aire dentro de la masa durante el amasado.
- El desarrollo continuo de la estructura del gluten creado inicialmente para modificar las propiedades reológicas de la masa y mejorar su capacidad de expansión cuando las presiones de gas aumentan durante la fermentación.
- La creación y modificación de compuestos de sabores particulares en la masa que permanecerán en el producto horneado.

- La correcta subdivisión de la masa después de la etapa de amasado.
- Un breve retraso en el procesamiento causa modificaciones en las propiedades físicas y reológicas de la masa.
- La fermentación y expansión de la masa durante el amasado.
- La expansión adicional de las piezas de masa y fijación de la estructura final del pan durante la cocción.
- La correcta refrigeración y almacenamiento del producto final antes de que sea consumido.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se mencionan las principales etapas en la elaboración de pan:

a. MEZCLADO Y AMASADO

El primer proceso importante en la elaboración de cualquier producto de panadería es la mezcla de sus ingredientes. El mezclado mecánico se lleva a cabo en un recipiente cerrado donde se confinan los ingredientes, el bol, a través del cual una o varias paletas de mezclado pasan por un movimiento definido. Existen muchas variantes en el diseño de cuencos y paletas de mezclado, pero todas están configuradas para conseguir un objetivo, la dispersión (Cauvain y Young, 2006).

La importancia de transferir energía a la masa durante la elaboración del pan es tal que podría considerarse como un insumo en sí mismo. En términos generales, cuanto mayor sea la transferencia de energía a la masa durante el mezclado, mayor será la mejora de la retención, y, por tanto, mayor el volumen del pan. Sin embargo, eventualmente se alcanza un punto donde más transferencia de energía no confiere retención de gas extra y en último caso, la masa puede ser descrita como “sobre mezclada” (Cauvain y Young, 2006).

En resumen, según Flecha (2015), el amasado constituye la base de la elaboración de la masa. Su papel es en primer lugar el de mezclar los ingredientes que la componen y de

asegurar seguidamente sobre esa mezcla un trabajo mecánico hasta que proporcione una masa coherente homogénea y lisa que se desprenda bien de las paredes de la amasadora, es decir, el amasado finaliza cuando todas las materias primas han formado una única masa que se adhiere a los brazos de la amasadora, que es capaz de ofrecer suficiente elasticidad y muestra poros blancos, resultado de una buena oxigenación, obteniéndose una masa con distintas características plásticas, es decir, las masas pueden ser tenaces (ofrecen resistencia al estiramiento), elásticas (se estiran hasta cierto punto y muestran capacidad de retroceso) o extensibles (tienen capacidad para ser estiradas y laminadas hasta llegar a un punto en que se rompen) (Gimeno, 2013).

Entre las principales funciones del amasado se tiene a la hidratación de todos los componentes de la masa (proteínas insolubles y solubles (que aumentan al doble de su volumen inicial), almidones, levadura, etc.), la formación y desarrollo del gluten gracias a la acción mecánica de la amasadora. Esta acción posibilita la unión intermolecular de las proteínas insolubles de la harina (gliadina y glutenina). El oxígeno capturado en la masa en la aireación de esta (en el transcurso del amasado) posibilita a la vez una serie de procesos de oxidación que forman enlaces entre puentes disulfuro que dotan a la malla proteica (gluten) de una tenacidad, elasticidad y extensibilidad claves para el proceso de elaboración. El oxígeno se aloja en forma de pequeñas burbujas de aire que posteriormente darán lugar al alveolado del pan, cuyas características dependerán en gran medida de la fase del amasado (Flecha, 2015).

Flecha (2015) menciona que el amasado tiene muchas variantes, condicionados a los productos a elaborar, a las características de las materias primas utilizadas para la elaboración de dichos productos y al proceso al que se va a someter esos productos. Además, se deben tener en cuenta algunos factores que influyen en el amasado como la calidad y tipo de harina, consistencia de la masa, temperatura y composición de la masa.

b. FERMENTADO

Según Gimeno (2013), la etapa de fermentado, es la etapa, por norma general, de mayor duración del proceso de panificación y constituye una de las etapas más importantes. Por lo general, se hace referencia a la fermentación como el período de tiempo en que se dejan las

piezas en la cámara de fermentación (segunda fermentación), en condiciones de temperatura y humedad controladas. Sin embargo, se debe recordar que desde que se mezclan los ingredientes ya se tiene lugar una pequeña fermentación (primera fermentación).

La segunda fermentación es la más larga y es la etapa en la cual las enzimas α -amilasa, β -amilasa, glucosidasa y amiloglucosidasa actúan sobre el almidón. El ambiente presente en las piezas formadas es principalmente anaerobio, por lo que la fermentación que tiene lugar en mayor grado es de tipo alcohólica, aunque a su vez se producen distintas fermentaciones complementarias (butírica, láctica y acética) (Calaveras, 2004).

Haciendo referencia a la fermentación que se tiene en mayor proporción, la alcohólica (Figura 6), se define como un proceso originado por la levadura, por lo que en panes ácimos (panes que se hacen sin levadura) esta etapa no tiene sentido. Según Nielsen *et al.* (2003), esta es un proceso anaeróbico donde el sustrato celular; mono y disacáridos en su mayoría, son transformados principalmente en etanol ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$) y dióxido de carbono (CO_2), dando como resultado 27 calorías por cada molécula de glucosa metabolizada; con la generación de equivalentes de reducción de los compuestos NADH/NAD^+ y NADHP/NADP^+ y enlaces de alta energía de fosfato (ATP, que es utilizado por las levaduras en su metabolismo energético). Este ATP es sintetizado a partir de un proceso de glicólisis al que sigue el metabolismo del piruvato. De este modo la fermentación complementa la glucólisis y hace posible producir energía en ausencia de oxígeno (Nielsen *et al.*, 2003). Los procesos catabólicos inician luego de que los azúcares son transformados en glucosa-6-fosfato (G6P) o fructosa-6-fosfato (F6P). A partir de este momento, se desarrolla la glucólisis y el metabolismo del piruvato. Cabe mencionar que la glucólisis, contempla una serie de reacciones intermedias dentro la ruta “Embden-Meyerhof-Parnas” (EMP) y la vía fosfato-pentosa (PP) (Figura 6).

Cabe resaltar que posteriormente el piruvato se descarboxila a aldehído, la forma reducida de la coenzima NAD se oxida (todo lo anterior sin la intervención de la Acetil CoA, generando simultáneas reducciones del piruvato a etanol (90 por ciento aproximadamente) (primera etapa) (Figura 7) y el 10 por ciento restante el piruvato se reduce a ácidos y otros compuestos (los mismos que otorgan diversos sabores y aromas al producto final) (segunda etapa) (Nielsen *et al.*, 2003).

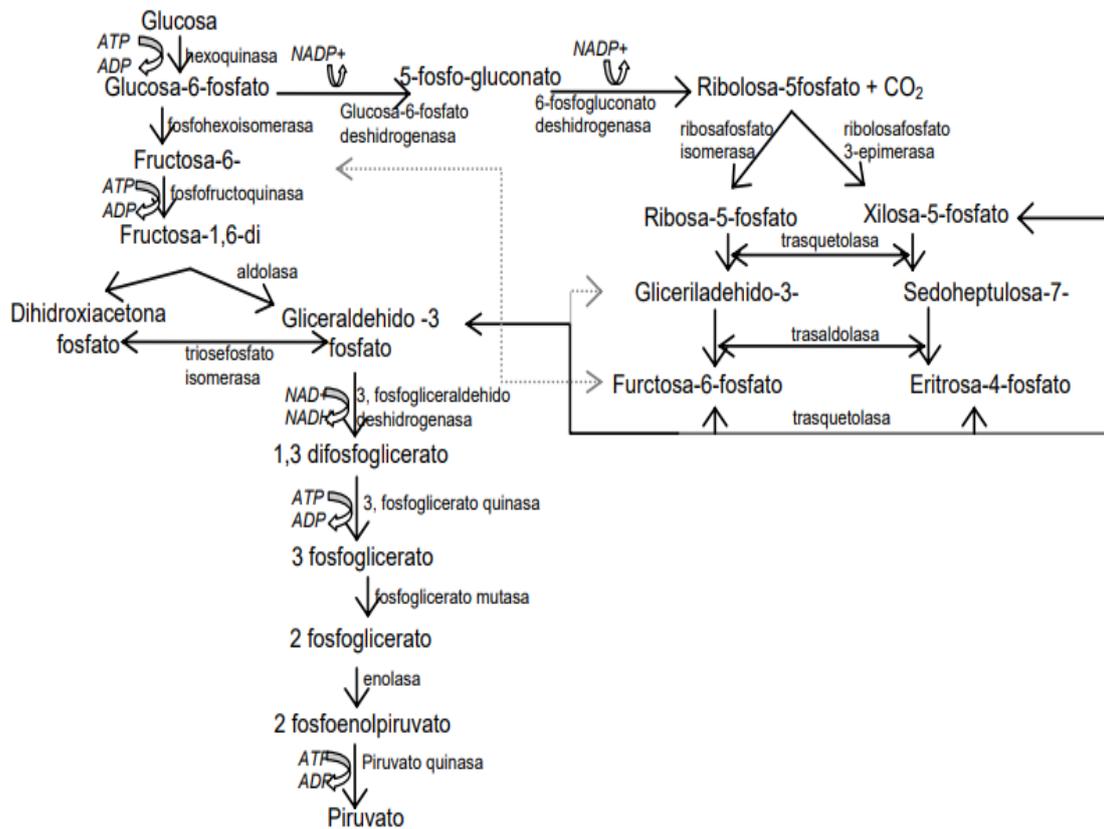


Figura 6. Reacciones en la glucólisis.

FUENTE: Nielsen *et al.* (2003)



Figura 7. Fermentación alcohólica

FUENTE: Nielsen *et al.* (2003)

Para que la segunda etapa de la fermentación se desarrolle correctamente es necesario que el pH de la masa se encuentre entre 5.2 y 5.8, y que la temperatura oscile entre 28 y 29 °C. Sin embargo, las levaduras muestran su mayor actividad a temperaturas entre 35 y 40 °C. Por este motivo, y para reducir el tiempo de fermentación, es necesario que la transferencia de calor a la masa haga aumentar la temperatura de esta unos 10 - 15 °C. Esta temperatura

se alcanza mediante la humedad que se condensa en la superficie del pan, cediendo su calor latente (Nielsen *et al.*, 2003).

Durante la fermentación, la masa se expande entre tres y cuatro veces respecto a su volumen inicial, de aquí la importancia del control de humedad, que confiere a la capa exterior flexibilidad e impide que se desgarre, además de reducir la pérdida de peso durante la fermentación. Entre los principales objetivos de esta etapa se tiene:

- Aumentar el volumen de las piezas.
- Conseguir una textura fina y ligera
- Producir aromas que otorguen características propias a los panes.

Como resultado de la actividad de la levadura, se generan diversos ácidos orgánicos, aminoácidos y alcoholes de diversos pesos moleculares, aunque solo permanecerán en el producto final los compuestos menos volátiles. Cuanto mayor es el tiempo de fermentación, mayor es el espectro de compuestos formados y, por tanto, se obtiene una mayor complejidad organoléptica (Nielsen *et al.*, 2003).

El CO₂ obtenido por la fermentación alcohólica (Figura 7) es retenido por los alveolos de la masa, que aumentan de tamaño para soportar la sobrepresión de gas. Por este motivo, es muy importante la calidad de las proteínas del gluten, ya que de estas depende una adecuada capacidad de retención de gas. Cuando las proteínas son de mala calidad o existen porosidades en la masa, gran parte del gas producido durante la fermentación se pierde, requiriéndose tiempos de fermentación muy largos para obtener un volumen aceptable. Además, las masas con poca capacidad de retención de gas, a su entrada en el horno, tienden a debilitarse y a resultar en panes caídos, con poco volumen (Nielsen *et al.*, 2003).

Respecto a los otros procesos fermentativos (que representan aprox. el 10 por ciento) que se producen durante la segunda etapa de fermentación, se tiene a la fermentación láctica, butírica y acética, principalmente. La fermentación láctica (Figura 8), producida por las bacterias lácticas, produce la hidrólisis de la lactosa y/o sacarosa produciendo glucosa, la misma que posteriormente es transformada en ácido láctico. Se trata de una reacción lenta

pero que a temperaturas mayores de 35 °C transcurre con rapidez. La producción de ácido láctico en exceso, cuando la temperatura de fermentación es excesiva, provoca una maduración excesiva de la masa. No obstante, cuando transcurre de manera normal, se produce una pequeña acidez que favorece la extensibilidad del gluten y los aromas del producto final. Además, esta acidez favorece la actividad de las levaduras, ya que estas necesitan medios ácidos para realizar las reacciones de fermentación (Nielsen *et al.*, 2003).



Figura 8. Fermentación láctica

FUENTE: Nielsen *et al.* (2003)

La fermentación butírica (Figura 9) se produce a partir del ácido láctico obtenido en la fermentación láctica cuando la temperatura de fermentación es excesiva y la acidez de las masas es alta. Las bacterias butíricas tienen su temperatura óptima de fermentación entre 36 y 40 °C, así como un pH óptimo entre 3.2 y 3.8. No obstante, cabe destacar que en las fermentaciones panarias normales esta fermentación se desarrolla en pequeña proporción, produciéndose siempre una pequeña cantidad de ácido butírico.

En la fermentación acética (Figura 10), producida por bacterias acéticas, se transforma el etanol producido en la fermentación alcohólica en ácido acético. Se trata de una fermentación que ocurre en presencia de aire, ya que las bacterias acéticas son aerobias, y su aporte a la acidez total de la masa se produce en un porcentaje bajo (Nielsen *et al.*, 2003).

c. HORNEADO

Gimeno (2013) menciona que la entrada de la masa en el horno es un momento muy crítico debido a que el choque térmico produce un aumento de presión de los gases retenidos en los alveolos, lo que resulta en un aumento del volumen de la pieza, evaporándose el etanol y parte del agua de la masa. En los casos en que la capacidad de retención de gas es baja, los alveolos no soportan el aumento de presión y se obtienen panes caídos y planos.

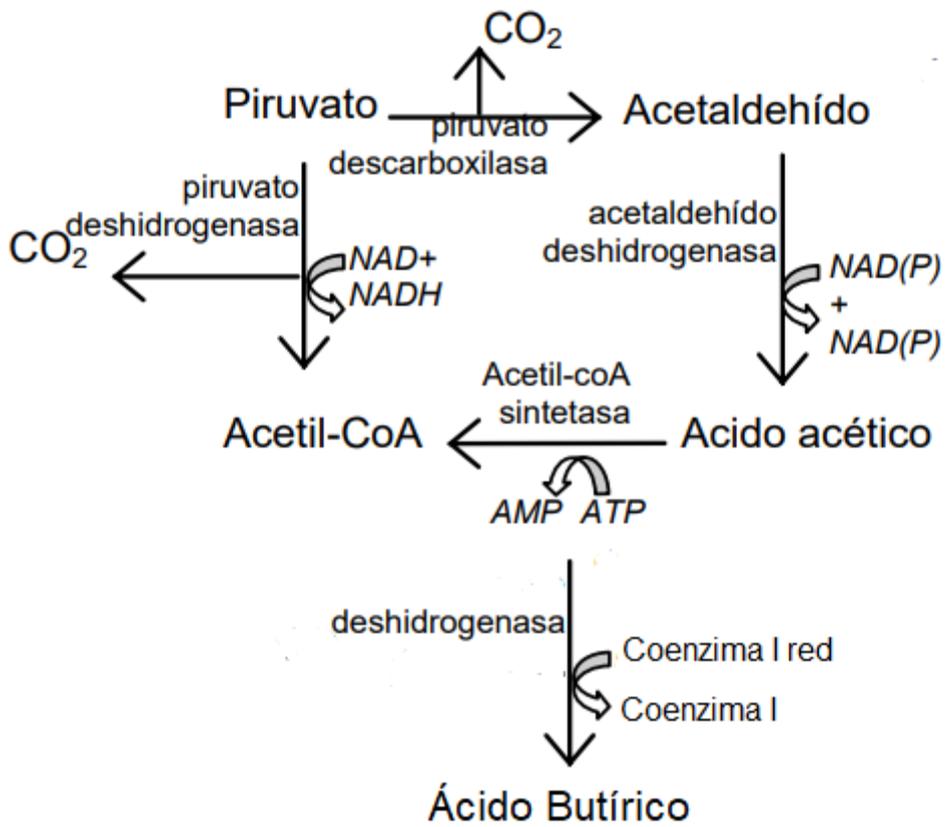


Figura 9. Fermentación butírica

FUENTE: Pacheco y Yesquen (2011)

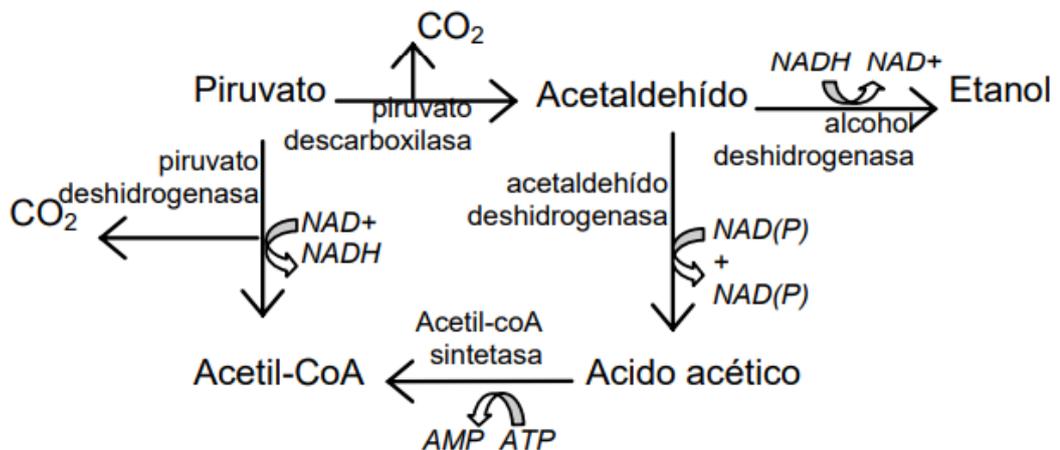


Figura 10. Fermentación acética

FUENTE: Nielsen *et al.* (2003)

Por este motivo, se considera al horneado una de las etapas claves, ya que de un buen horneado se obtendrán panes con calidades organolépticas de alta calidad.

En la cocción de la masa se producen principalmente reacciones de Maillard, que proporcionan color, dado que se forman melanoidinas. Sin embargo, se ha descrito que estos compuestos influyen tanto en el sabor como en el aroma. Este conjunto de reacciones comienza con la condensación de azúcares reductores y aminoácidos, tanto libres como polimerizados en forma de proteínas. De manera general, una amina primaria reacciona con un grupo carbonilo, lo que forma un compuesto inestable (Base de Schiff) que posteriormente genera un producto de Amadori. Estos compuestos pueden seguir reaccionando formando compuestos de mayor complejidad, pero también se degradan formando azúcares anhidros, furfurales y reductonas (Zhang *et al.*, 2009).

Además de estas reacciones se producen también las reacciones de Strecker, que consisten en la desaminación oxidativa y descarboxilación de aminoácidos para formar aldehídos o cetonas de fusel, los mismos que contribuyen al aroma como 2-feniletanal, 3-metilbutanal, etc., y además pueden continuar modificándose según las reacciones de Maillard (Gimeno, 2013).

De manera general, Flecha (2015) clasifica el horneado o cocción de la masa en tres etapas:

- PRIMERA ETAPA: La diferencia entre la temperatura de la masa (26-28 °C aprox.) y la del horno (200 – 240 °C) y la buena conductividad de la masa debido a su riqueza acuosa frenan la elevación de la temperatura en la superficie del pastón protegiéndola del calor y facilitando su desarrollo. Simultáneamente se manifiesta un periodo de fermentación intensa que lleva consigo una aceleración de la producción de gas carbónico seguida de una fuerte dilatación y todo ello combinado engendra el empuje gaseoso que provoca un desarrollo espectacular del pastón. Los cortes facilitan el empuje gaseoso y mejoran el aspecto del pan, igualmente favorecen el alveolado de la miga. Esta acción se desarrolla hasta que, bajo los efectos del calor, la temperatura interna del pastón alcanza 50 - 60 °C, temperatura a la que las levaduras son destruidas. Entonces se llega al final de la producción de gas carbónico y de la primera etapa.

- **SEGUNDA ETAPA:** La masa aún plástica bajo el empuje combinado del vapor de agua que nace y de la dilatación del gas carbónico que se amplifica continúa desarrollándose, pero simultáneamente el aumento de temperatura progresa hacia el centro teniendo como efecto la gelificación del almidón, así como la coagulación del gluten a partir de 70 °C, la que ocasiona el fin de la plasticidad de la masa y su desarrollo. De este modo se llega al final de la segunda etapa, cuando el pan ha alcanzado su volumen definitivo.
- **TERCERA ETAPA:** La fuerte evaporación de la pared externa disminuye en tanto que su temperatura aumenta. La corteza se forma, se espesa y la caramelización de los azúcares residuales presentes en la masa provocan su coloración. Por último, cabe resaltar que la temperatura interior de los panes durante la cocción apenas y alcanza los 100 °C, en tanto que la temperatura exterior de la corteza soporta un calor medio de 225 °C.

El mismo autor menciona que se deben tener en cuenta algunos factores que influyen en el desarrollo del pan en el horno como la cantidad de levadura, la cantidad de enzimas amilásicas, la cantidad de amilosa y azúcares reductores, la evaporación de ácidos orgánicos creados durante la fermentación, la temperatura alta del horneado al inicio de la cocción, la cantidad de vapor de agua, el aumento de la presión ejercida por el agua contenida en el interior de la masa, entre otros.

2.4.4. HARINAS SUCEDÁNEAS EN REEMPLAZO PARCIAL DE HARINA DE TRIGO EN PANIFICACIÓN

Gran parte de las investigaciones en panificación consisten en reemplazar parcialmente la harina de trigo por algún otro producto de textura similar que no necesariamente sea obtenido a partir de un cereal, como es el caso de la harina de quinua. Algunas de las ventajas del uso de harinas sucedáneas nativas son la mejora del valor nutritivo del pan, el ahorro de divisas por menor importación de trigo y el impulso de la agricultura e industria local por la mayor demanda de productos nativos.

Algunos ejemplos de reemplazo parcial de harina de trigo por harina de quinua (en diversas presentaciones) son el caso de Arone (2015) quien desarrolló la investigación “Evaluación de las propiedades físicas, químicas y organolépticas del pan tipo molde enriquecido con harina de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) y chia (*Salvia hispánica* L.) con el objetivo de obtener un pan con adecuadas características y de calidad usando el diseño de mezclas, Swieca *et al.* (2014) quienes desarrollaron la investigación “Pan enriquecido con hojas de quinua: la influencia de las interacciones entre proteínas y compuestos fenólicos en las cualidades nutritivas y antioxidantes” con el objetivo de incrementar proteínas y compuestos fenólicos, García (2011) con la investigación “Desarrollo de un producto de panadería con harina de quinua (*Chenopodium quinoa* W.)” con el objetivo de incrementar calidad nutricional (proteínas), Rosell, Cortez y Repo (2009) con la investigación “Breadmaking use of andean crops quinoa, kañiwa, kiwicha and tarwi” con el objetivo de mejorar el valor nutricional (proteínas y compuestos bioactivos). Asimismo, De la Cruz Quispe (2009) con el trabajo titulado “Complementación proteica de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y suero en pan de molde y tiempo de vida útil” con el objetivo de incrementar proteínas y, por último, Carrera (1995) que con el mismo objetivo que el autor anterior desarrolló la investigación “Sustitución de harina de trigo por quinua (*Chenopodium quinoa*) precocida en la elaboración de pan”.

a. UTILIZACIÓN DE HARINAS DE GERMINADOS EN PANIFICACIÓN

Existe poca información acerca de la utilización de harina de germinados específicamente en panes. Por el contrario, existe más información acerca de las posibles aplicaciones de harinas de germinados obtenidas en condiciones ideales para la producción de una amplia gama de productos de panificación y también hacen referencia que harinas de germinados obtenidas en condiciones no ideales (Ej.: Semillas expuestas a condiciones de humedad prolongadas para que germinen) no son aptas para productos horneados debido a la excesiva actividad enzimática de estas (Prasada y Hemalata, 2014).

Como ejemplos de aplicación de harina de germinados en panificación se tiene al uso del alforfón para producir galletas libres de gluten y quinua para elaborar muffins libres de gluten. El primero desarrollado por Molinari *et al.* (2017), quienes utilizaron harina de alforfón germinada en niveles de sustitución de 30% para mejorar el contenido de polifenoles

y capacidad antioxidante de galletas libres de gluten. Asimismo, lograron mayores contenidos de proteínas, fibra y un menor valor calórico respecto a una galleta tradicional. El segundo desarrollado por Miranda *et al.* (2019), quienes evaluaron el efecto de aplicar harina de quinua germinada (por 24 horas) y sin germinar en muffins libres de gluten, obteniendo que la primera tuvo un impacto positivo en la calidad nutricional, color de la miga y elasticidad de los muffins; pero impactó negativamente en la estructura de la miga, volumen específico y dimensiones de estos.

No existe información acerca de la aplicación de harina de quinua germinada en panes. Por otro lado, existe información acerca de la aplicación de trigo germinado en panes, produciendo así el popular pan “*ezenio*”. Estudios recientes informaron que el uso de harina de trigo germinado en forma controlada en formulaciones de pan permite mejorar el volumen del pan y la textura de la miga, estos efectos atribuidos a las enzimas naturales generadas durante el proceso de germinación que podrían disminuir o reemplazar la cantidad de enzimas agregadas a las formulaciones de panes. No obstante, el uso de trigo germinado como mejorador de harinas convencionales no ha sido estudiado con más profundidad (Marti *et al.*, 2017).

Otra aplicación de harina de germinados en panes es la “*fainá*” en Argentina. Un panificado hecho en base a harina de garbanzo, aceite de oliva, agua, sal y pimienta. Estudios realizados con harina de guisante germinado y sin germinar indicaron que la adición de hasta el 12.5 por ciento de harina de guisante germinado proporcionaba mejores características reológicas, de textura y de estructura de la miga que porcentajes similares de harina de guisantes.

Una aplicación más de harina de germinados en panes es la realizada por Veluppillai *et al.* (2010), quienes obtuvieron un pan con harina de arroz germinada (por 3 días) en niveles de sustitución de 35% que presentaba mejor aceptación sensorial y valor nutricional que un pan 100% harina de trigo, resaltando que la adición de harina de arroz germinado en panes puede reducir significativamente el índice glucémico de este y hacerlo una mejor alternativa para las personas con diabetes.

Sin embargo, se le encuentran ciertas desventajas al uso de harinas procedentes de granos germinados en panes, como por ejemplo la generación de panes oscuros de miga gomosa y

pegajosa, pan poco fermentado, corteza de color rojizo o color gris oscuro, debido a la alta actividad alfa-amilásica (valores de tiempo de caída o falling time inferiores a 150) (Moot y Every, 1990; De la Horra *et al.*, 2012), reducción de la fuerza del gluten presente en la harina por la presencia de proteasas (Barbeau, 2006).

2.5. EVALUACIÓN SENSORIAL

Según Hernández. (2005), el análisis o evaluación sensorial es el análisis de los alimentos a través de los sentidos: vista (color y defectos), olfato (aroma y flavor), tacto (manual y bucal), oído (tacto y durante la masticación) y gusto (sabor).

Este mismo autor menciona que la evaluación sensorial es un auxiliar de suma importancia para el control y mejora de la calidad de los alimentos, ya que, a diferencia de otros análisis de laboratorio, permite hacerse una idea global del producto de forma rápida, bien sea su aceptación o rechazo. A su vez, Heymann y Lawless (2010) explican que la evaluación sensorial está comprendida por un conjunto de técnicas que sirven para la medición precisa de las respuestas humanas a los alimentos y minimiza los efectos potencialmente que pueden sesgar la identidad de la marca y otras influencias de la información sobre la percepción del consumidor.

Osorio (2018) menciona que los principios y prácticas de la evaluación sensorial se basan principalmente en cuatro actividades:

- Preparar y servir las muestras bajo condiciones controladas con la finalidad de minimizar cualquier factor que puede sesgar la prueba.
- Establecer una relación real y específica entre el producto y la percepción humana.
- Obtener la data de la manera más objetiva posible y analizarla.
- Interpretar los resultados de acuerdo con la hipótesis previamente planteada, conocimientos previos e implicaciones para las decisiones.

Existe un gran número de pruebas sensoriales, la elección de las mismas depende principalmente del objetivo de la prueba. Así pues, Barcina e Ibáñez (2001) mencionan que básicamente existen tres grandes tipos de pruebas (cada uno enfocada en distintos objetivos y utiliza distintos tipos de participantes): discriminativas y descriptivas, que pertenecen al grupo de las pruebas analíticas, y las de preferencia, que pertenecen al grupo de las pruebas afectivas. A continuación, en la Figura 11, se presenta la clasificación de las diferentes pruebas que se pueden utilizar en las evaluaciones sensoriales

2.5.1. PRUEBAS AFECTIVAS

Las pruebas afectivas son empleados en la evaluación sensorial de alimentos para conocer la aceptabilidad de estos por parte del consumidor, así como también sus preferencias de consumo. En ambos casos, se busca medir estos criterios a partir de datos obtenidos de una muestra poblacional representativa de un grupo social de individuos que, por consideraciones de idiosincrasia de consumo, cultura, nivel económico, entre otros aspectos socioeconómicos y culturales, tienden a coincidir muchas veces en “gustos”, “apetencias”; datos que serán luego analizados estadísticamente para su valoración y posterior aceptación o rechazo de la hipótesis enunciada inicialmente (Ureña *et al.*, 1999).

Espinoza (2007) menciona que este tipo de pruebas requieren de personas no seleccionadas ni entrenadas para la evaluación de los productos, lo único que se requiere es que sean consumidores reales o potenciales del producto. Lawless y Heymann (2010) inciden en que, si bien no se requiere de personas entrenadas, estas deben ser elegidas de manera aleatoria y deben ser entre 50 a 500 para que se pueda validar la prueba. Por otro lado, Costell y Durán (1981) que tan solo con la opinión de 80 - 100 consumidores ya se puede tener datos útiles sobre la aceptabilidad y preferencia.

Espinoza (2007) clasifica a las pruebas afectivas en:

- Pruebas de aceptación
- Pruebas de preferencia
- Pruebas escalares

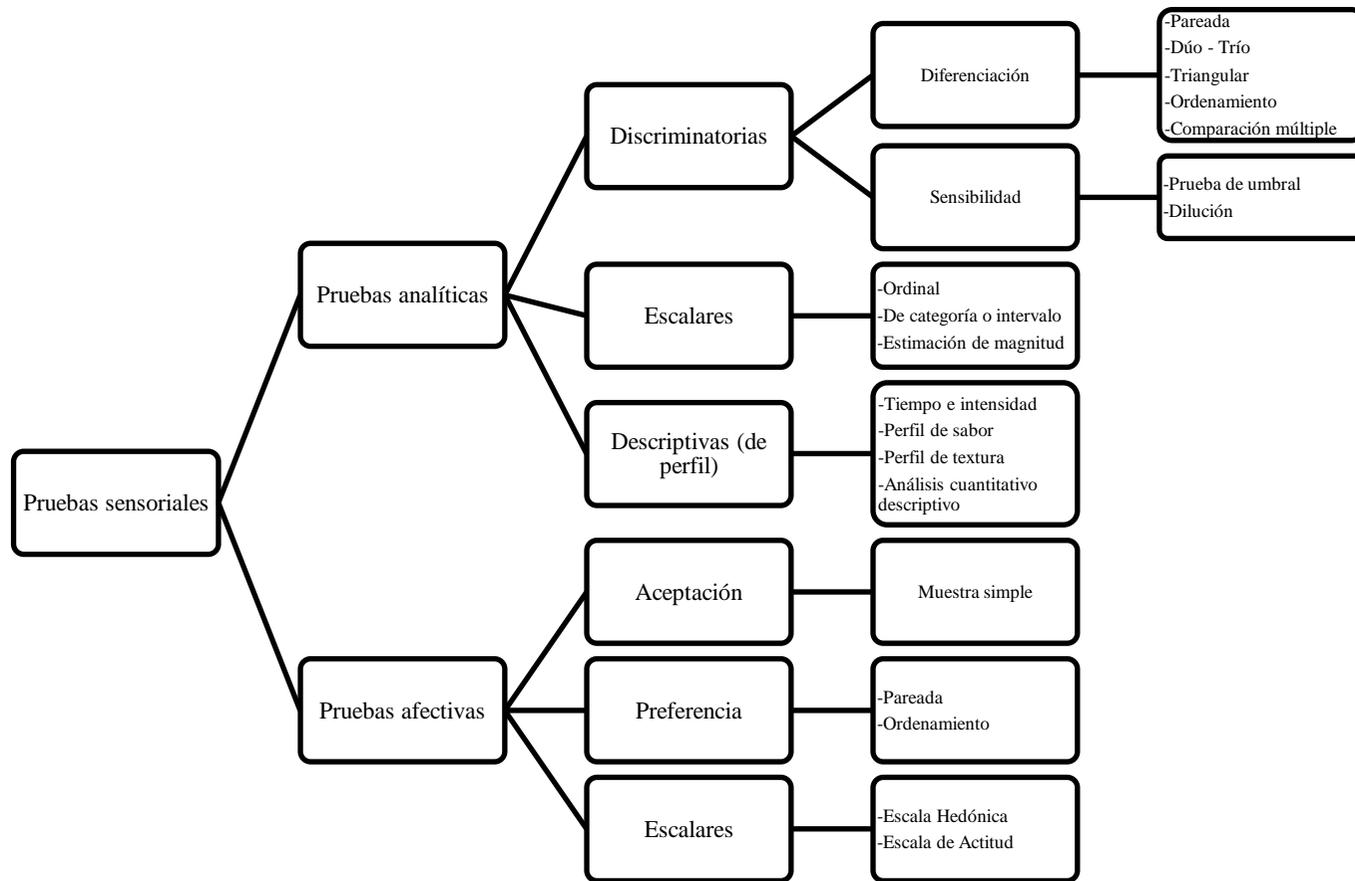


Figura 11. Clasificación de pruebas sensoriales

FUENTE: Espinoza (2007)

Cabe resaltar que la principal diferencia entre las pruebas de aceptación y las de preferencia es que, en las primeras, los consumidores indican su nivel de agrado en una escala y en las segundas, indican cuál es la muestra de su preferencia.

a. PRUEBAS DE ACEPTACIÓN

Clark *et al.* (2009) mencionan que estas pruebas también son conocidas como pruebas de nivel de agrado (hedónicas) o grado de satisfacción, y son empleadas para determinar el grado de aceptación de un producto por parte de los consumidores y según su tipo permiten medir cuánto les agrada o desagrada.

La importancia de estas pruebas ha ido creciendo de forma paralela con el desarrollo de la industria alimentaria hasta el punto de reconocer que el mejor alimento, desde el punto de vista nutricional carece por completo de poder de venta, si no cuenta con una buena aceptabilidad por parte del consumidor. Cabe aclarar que el hecho que un alimento agrade a alguien no significa que lo vaya a comprar, y es el deseo de la persona por adquirir el alimento a lo que se llama aceptación (Villaverde, 2004).

La autora anterior menciona algunas de las ventajas de estas pruebas como la simplicidad que permiten que sean usadas rápidamente con una gran cantidad de personas y por personas sin experiencia previa. Por otro lado, una desventaja de esta prueba es la gran cantidad de panelistas que requiere.

b. PRUEBAS DE PREFERENCIA

Drake (2007) describe a las pruebas de preferencia como aquellas pruebas en la que a los consumidores se les presentan dos o más muestras y deben indicar cuál es la muestra de su preferencia, son pruebas de fácil realización y la pregunta es comprendida por consumidores de todas las edades e incluso aquellos que cuentan con un bajo nivel de instrucción. Además, en estas pruebas se obliga a elegir un producto sobre otro. Una de las desventajas de estas pruebas es que no indica si alguno de los productos gusta o disgusta (Villaverde, 2004).

b.1. PRUEBAS DE PREFERENCIA PAREADA

Ramírez (2012) menciona que la comparación de pares es probablemente el primer método formal desarrollado para evaluar las preferencias. En esta prueba, los panelistas responden a la sencilla pregunta ¿Cuál de las dos muestras prefieres?, ellos deben seleccionar una, incluso si ambas muestras les parecen similares. Las dos muestras son presentadas en envases idénticos y codificadas con número aleatorios de cuatro dígitos. En esta prueba se permite saborear las muestras varias veces, si es necesario.

Villaverde (2004) presenta algunas de las ventajas y desventajas de estas pruebas. Algunas de las ventajas son que no causa fatiga física y son pruebas muy simples de usar. Entre las desventajas está que brindan poca información (la respuesta del consumidor no provee una medida directa de la magnitud de preferencia), y son poco eficientes, ya que hay una sola respuesta para cada par de muestras que se evalúa a diferencia de las pruebas de puntuación que sí dan una respuesta por producto.

2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO EMPLEADO EN LA EVALUACIÓN SENSORIAL DE ALIMENTOS

Según Hernández (2005), el análisis de los datos provenientes de una evaluación sensorial se puede realizar a través de diferentes métodos estadísticos. Por esta razón, es necesario hacer referencia al método o métodos estadísticos utilizados, sin necesidad de mostrar las fórmulas con detalle, en todo caso, estas podrían incluirse como anexo.

Los métodos estadísticos se pueden clasificar en: métodos visuales, aquellos que permiten analizar los datos sin necesidad de identificar las tendencias, facilitan el trabajo, resumen los datos y son sencillos de utilizar (histogramas y gráficas lineales entre otros); métodos univariantes, aquellos que permiten analizar cada una de las variables como si fueran independientes; métodos multivariantes, aquellos que permiten analizar todos los atributos presentes, esto con el fin de saber cuál es la diferencia entre una muestra u otra; métodos paramétricos, que proporcionan resultados precisos siempre y cuando se conserven los supuestos, y que se ajusten a la distribución normal de lo contrario los resultados no son tan

confiables; y por último, métodos no paramétricos, que son más sólidos que los paramétricos aunque los resultados son menos exactos.

2.6.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD

En muchos casos, el número de muestras es tan grande que la evaluación de la aceptabilidad puede resultar complicada sobre todo para los panelistas que luego de probar un número determinado de estas, se encuentran fatigados y no pueden concluir con satisfacción la evaluación. En estos casos, se utilizan los diseños de bloques incompletos, ya que permiten a los analistas sensoriales obtener datos consistentes y fiables de sus panelistas cuando el número de tratamientos en el estudio es mayor que el número que pueden evaluarse antes que les de fatiga. En estos tipos de diseños, los panelistas sólo evalúan una porción del número total de muestras (cada panelista evalúa k del total de t muestras, por lo que $k < t$) (Meilgaard *et al.*, 1991).

En resumen, en los casos en los que cada miembro del panel sensorial no pruebe la totalidad de las muestras, y el diseño empleado es de bloques incompletos, se puede usar la prueba de Durbin, la cual se muestra en la siguiente ecuación:

$$X_C^2 = \left\{ \frac{12(t-1)}{rt(k-1)(k+1)} \left(\sum_{i=1}^k R_i^2 \right) \right\} - \frac{3r(t-1)(k+1)}{k-1}$$

Donde:

t =Número de tratamientos

k =Número de unidades experimentales por bloque

b =Número de bloques (panelistas)

r =Número de veces en que cada tratamiento aparece ($r < b$)

l =Número de bloques en el cual el i -ésimo y j -ésimo tratamiento aparecen juntos

Además, se cumple que:

$$r = \frac{kb}{t} \text{ y } l = \frac{r(k-1)}{(t-1)}$$

En esta prueba, la hipótesis nula H_0 es que los tratamientos evaluados tienen igual aceptabilidad. Mientras que la hipótesis alterna H_a es que al menos uno de los tratamientos tiene mayor aceptabilidad con respecto a los demás. En caso se aceptará la hipótesis alterna, se tendría que realizar una prueba posterior de comparaciones múltiples.

Lara (2000) recomienda el método de Scheffé para realizar contrastes entre medias de tratamientos cuyo modelo no sea equilibrado (como el diseño de bloques incompletos).

El método de Scheffé está basado en la construcción de intervalos de confianza para todos los posibles contrastes, estos intervalos tienen un nivel de confianza simultáneo $1 - \alpha$, es decir, la probabilidad de que todos los intervalos sean correctos simultáneamente es igual a $1 - \alpha$. Scheffé demostró que dichos intervalos de confianza tienen la siguiente expresión:

$$\hat{C} \pm S\{\hat{C}\} \sqrt{(I-1)F_{\alpha, I-1, N-I}}$$

Donde las cantidades que intervienen son:

\hat{C} = Estimador insesgado de C.

$S\{\hat{C}\}$ = Estimador de la desviación típica del contraste

$$S\{\hat{C}\} = \sqrt{\check{S}_R^2 \sum_{i=1}^I \frac{a_i^2}{n_i}}$$

Siendo \check{S}_R^2 la varianza residual con N-I grados de libertad.

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis H_0 sobre un contraste C si el intervalo de confianza para C:

$$\zeta - S\{\zeta\} \sqrt{(I-1)F_{\alpha, I-1, N-I}}, \zeta + S\{\zeta\} \sqrt{(I-1)F_{\alpha, I-1, N-I}}$$

No incluye al cero, es decir, si:

$$|\zeta| > S\{\zeta\} \sqrt{(I-1)F_{\alpha, I-1, N-I}}$$

2.6.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA PREFERENCIA PAREADA

Para el análisis estadístico de las pruebas de preferencia pareada se utiliza análisis estadísticos no paramétricos. Los resultados se analizan usando pruebas binomiales de dos colas, estas son las más apropiadas porque permiten escoger cualquiera de las dos muestras, debido a que la dirección de la preferencia no puede determinarse de antemano.

Rodríguez (2010) recomienda la prueba del signo para el análisis estadístico de pruebas de preferencia pareada, ya que es una prueba no paramétrica utilizada para tomar decisiones exclusivamente entre dos productos, que consiste en emplear una muestra de “n” clientes potenciales para identificar la preferencia hacia uno de los productos como panes, hamburguesas, cafés, galletas, etc. El principal objetivo de esta prueba es identificar si hay una diferencia entre las preferencias hacia los dos productos.

El nombre de la prueba se debe a que está fundamentada en la dirección (signo de más o signo de menos) de un par de observaciones y no en su magnitud numérica.

En la prueba de hipótesis del signo se ensaya la hipótesis nula ($\mu = \mu_0$) contra una hipótesis alternativa sobre la base de una muestra aleatoria de tamaño “n”, sustituyendo cada valor de la muestra mayor que μ_0 con un signo positivo (+) y cada valor menor que μ_0 con un signo negativo (-). Los valores que coincidan con μ_0 deben descartarse del análisis.

III. METODOLOGÍA

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La parte experimental de la presente investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Biotecnología, laboratorio de Envases y Embalajes, laboratorio de Evaluación Sensorial de Alimentos, laboratorio de Fisicoquímica de Alimentos, laboratorio de Ingeniería e Investigación, y Planta Piloto de Alimentos; todos estos pertenecientes a la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú. Así como en el laboratorio de Investigación y Desarrollo del Centro de Investigación e Innovación en Productos Derivados de Cultivos Andinos (CIINCA), Lima – Perú.

3.2. MATERIALES

3.2.1. MATERIA PRIMA E INSUMOS

- Se utilizó como materia prima dos variedades de quinua: la variedad INIA- 420 Negra Collana, originaria de Tahuaco-Puno, la cual fue adquirida de la estación experimental Agraria Illpa Puno, y la variedad INIA- 415 Pasankalla del IRD- Sierra, la cual fue adquirida del Programa de Cereales y Granos Andinos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Los insumos utilizados (Anexo 1) fueron:
 - Harina de trigo panadera, Nicollini ®.
 - Agua mineral, San Mateo ®.
 - Levadura seca instantánea, Mauripan®.
 - Sal yodada, Emsal®.

- Manteca vegetal, Tropical®.

3.2.2.REACTIVOS

- Ácido bórico (Merck, Alemania).
- Ácido clorhídrico (J.T.Baker, USA).
- Ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS) (p.a. Sigma, USA).
- Ácido nítrico (Merck, Alemania).
- Ácido sulfúrico (Fermont, México).
- Amoníaco (p.a. Merck, Alemania).
- Catalizador $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} : \text{K}_2\text{SO}_4 : 1 : 300$ (p.a. Merck, Alemania).
- Carbonato de calcio anhidro (Merck, Alemania).
- Carbonato de sodio anhidro (J.T.Baker, USA).
- Glucosa (Fermont, México).
- Etanol (p.a. Emsure, Alemania).
- Éter de petróleo (Tedia, EEUU).
- Éter etílico (p.a. J.T. Baker, México).
- Hidróxido de sodio en perlas (p.a. J.T. Baker, México).
- Indicador fenolftaleína (Riedel de Haen).
- Indicador rojo de metilo (p.a. Riedel de Haen).
- Metanol (p.a. Emsure, Alemania).
- Óxido de lantano (Merck, Alemania).
- Potasio biftalato (p.a. Scharlau, Alemania).
- Reactivo de Fenol de Folin-Ciocalteu (p.a. Sigma,USA).

- Tartrato de sodio y potasio (p.a. Scharlau, Alemania).

3.2.3.MATERIALES

- Balones de digestión Kjeldahl.
- Bandejas de plástico.
- Beakers de 50, 250 mL.
- Bolsas de polietileno de alta densidad, marca Ziploc.
- Buretas.
- Cuchillos de acero inoxidable.
- Coladores.
- Crisoles de porcelana.
- Fiolas de 100 y 500 mL.
- Lejía.
- Licuadora.
- Matraces de 50 y 100 mL.
- Mortero.
- Papel filtro Whatman No 595.
- Perlas de ebullición.
- Pinzas para crisoles.
- Pipetas de 1, 5 y 10 mL.
- Pirotines.
- Piseta.
- Placas Petri.

- Plumón indeleble.
- Probeta de 100 mL.
- Sistema de destilación.
- Sistema de digestión.
- Soporte universal.
- Tubos de extracción de grasa (Mojonnier).

3.2.4.EQUIPOS

- Agitador magnético (VELP, ARE. Italia).
- Balanza analítica (OHAUS, MB35. Italia).
- Balanza electrónica (OHAUS, R31P30. Italia).
- Balanza de precisión (SARTORIUS, ELT 1001. España).
- Balanza para determinar humedad (METTLER TOLEDO, MJ-33. EE. UU.).
- Bomba de vacío o de alta presión (VACUUBRAND, ME2. Alemania).
- Cámara climática (MEMMERT, CLIMACELL EVO. Alemania).
- Cámara climática FITOTRON (BINDER, KBF 115. Alemania).
- Campana extractora eléctrica (S/M).
- Centrífuga (Heal Force, Neofuge 18R. China).
- Cocina a gas (Centrogas, S/M, Perú).
- Colorímetro digital (Konica Minolta, CR-400. Japón).
- Destilador de agua (Brand, Monodest 3000. Alemania).
- Espectrofotómetro (THERMO, 4001/4. EE.UU.).
- Estufa de secado (MEMMERT, SN-30. Alemania).
- Equipo de Baño María (MEMMERT, KARLKORD. Alemania).

- Horno industrial a convección rotativo (Nova, Max 1000. Perú).
- Juego de tamices N°50, 60, 70 y 80 (W.S. Tyler. EE. UU.).
- Máquina amasadora-sobadora (ARTOFEX, PH-0. Alemania).
- Máquina amasadora-sobadora (NOVA, K25. Perú).
- Máquina para ensayo de compresión (INSTRON, 3365. EE. UU.).
- Medidor de volumen (PERTEN, BVM6610. Suecia).
- Micrómetro digital (MITUTOYO CORPORATION. Japón).
- Molino rotor (RETSCH, SR 300. Alemania).
- Mufla (HERAUS, MR.170. Alemania).
- Sistema de extracción Soxhlet (BEHR, R108SSK. Alemania).
- Zaranda vibratoria (JEL, S/M. Alemania).

3.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.3.1.PRUEBAS FÍSICOQUÍMICAS

A. PRUEBAS FÍSICAS

a.1. DETERMINACIÓN DEL PODER GERMINATIVO. Método Aubry según ABSC (1978). Se colocaron 100 semillas de quinua por muestra con tres repeticiones y se les agregó 4 ml de agua destilada, se mantuvo a 20°C por cinco días.

a.2. DETERMINACIÓN DE LA SENSIBILIDAD AL AGUA. Método Aubry según ABSC (1978). Se colocaron 100 semillas de quinua por muestra con tres repeticiones y se les agregó 8 mL de agua destilada, se mantuvo a 20°C por cinco días

a.3. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE SAPONINA. Método afrosimétrico o de espuma según Koziol (1990). Método físico que se basa en que cuando las saponinas

se disuelven en agua y se agitan, forman una espuma estable, cuya altura está correlacionada con el contenido de saponinas.

a.4. DETERMINACIÓN DEL PESO DE 1000 GRANOS. Método recomendado por Arenas y Heredia (2017). Se pesaron 1000 semillas al azar por muestra con tres repeticiones utilizando una balanza analítica con sensibilidad de 0.1 mg.

a.5. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO EQUIVALENTE. Método recomendado por Cervilla *et al.* (2012). Se midió ancho (D1) (De extremo a extremo paralelo al funículo, medido en la parte central de la semilla), largo (D2) (De extremo a extremo perpendicular al funículo, medido en la parte central), y espesor (e) (De la cara posterior a la cara frontal) (Figura 12) utilizando un micrómetro digital. Una vez que se hubo determinado las medidas anteriores, se calculó el diámetro equivalente usando la siguiente ecuación:

$$De = (D1 * D2 * e)^{\frac{1}{3}}$$

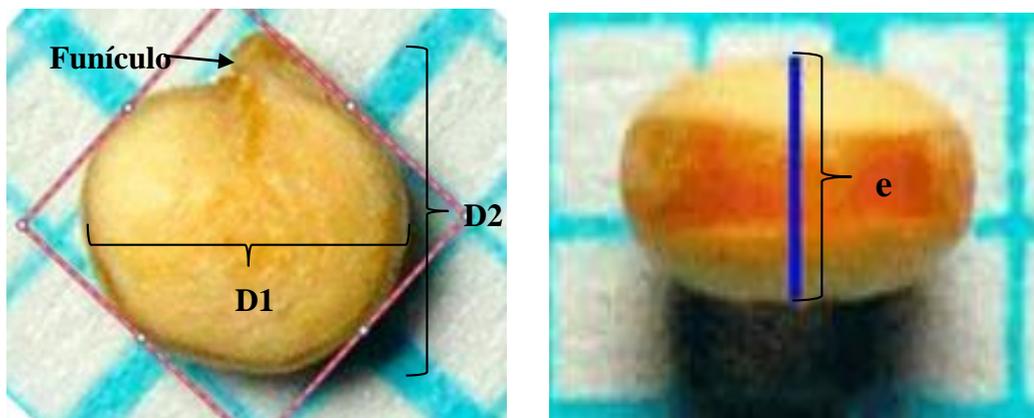


Figura 12. Dimensiones en una semilla de quinua

FUENTE: Arapa y Padrón (2014)

a.6. DETERMINACIÓN DE LA CATEGORÍA DE LOS GRANOS. Según la NTP 205.062, la categoría de los granos de quinua se determina identificando los parámetros de la Tabla 7 en un total de 100 granos y contrastándolos con las tolerancias admitidas (Anexo 2), en términos de porcentaje

Tabla 7: Parámetros para determinar la categoría de la quinua

Parámetro	Descripción
Grano entero	Son aquellos granos de quinua que no presentan ningún tipo de alteración en su forma física.
Grano quebrado	Son pedazos de granos cuyos tamaños son menores a las $\frac{3}{4}$ partes del grano entero ocurridos por acción mecánica.
Grano dañado	Son granos enteros o quebrados que en forma o estructura difieren de los demás, debido a que han sido alterados por agentes físicos, químicos o biológicos.
Grano germinado	Son granos que presentan desarrollo inicial de la radícula (embrión).
Grano recubierto	Son granos que conservan la envoltura (perigonio) o parte de la flor adherida al grano, antes o después del beneficio.
Grano inmaduro	Son granos que no han alcanzado su madurez fisiológica, caracterizándose por su pequeño tamaño y coloración verdusca.
Impurezas totales	Son materias extrañas a los granos de quinua y pueden ser orgánicas (cascarillas, granos de otras especies) e inorgánicas (tierra, arena, etc.)
Piedrecillas en 100g de muestra	Presencia de piedrecillas.
Granos contrastantes	Son granos de quinua que por su aspecto y color difieren de las características predominantes del proceso de selección.

<<Continuación>>

Insectos (enteros, partes o larvas)	Presencia de insectos enteros o inclusive partes de estos.
-------------------------------------	--

FUENTE: INDECOPI (2008)

a.7. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE RADÍCULA. Método recomendado por Rubio (2000). Se tomaron 30 muestras al azar de la quinua germinada durante un tiempo específico y se midieron las radículas estirándolas completamente desde el extremo del funículo (Figura 12) hasta el extremo final de la radícula, utilizando un micrómetro digital. Se promediaron los valores para cada tiempo de germinado.

a.8. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DE MALTA. Método recomendado por Quinde (1995), se dividió el peso de malta (bs) (quinua germinada seca) entre el peso inicial de las semillas (bs) y se multiplicó por 100 %.

$$\text{Rendimiento de malta} = \frac{\text{Peso de malta (bs)}}{\text{Peso inicial de semillas (bs)}} \times 100\%$$

a.9. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. Método recomendado por A.O.A.C. 965.22 (2007). Se colocó 100 gramos de harina en el tamiz superior (juego de tamices marca Tyler de diferentes aperturas en orden descendente (50, 60, 70 y 80 mesh) y finalmente plato recolector). Al final, se pesó cada tamiz, determinando en cada tamiz el porcentaje de rechazos y porcentaje cernidos.

a.10. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GLUTEN. Método recomendado por AACC (2005). Se colocó 15 g de harina, se agregó 8 g de agua y se amasó. Se lavó bajo chorro de agua hasta que solamente quede el gluten, el que se pesó con una balanza analítica con sensibilidad de 0.1 mg.

a.11.DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ESPECÍFICO DEL PAN. Por topografía laser utilizando el medidor de volumen PERTEN. La topografía láser se utiliza para modelar digitalmente una muestra y determinar su volumen, expresado en mililitros por gramo, recomendado por A.A.C.C. (2005). Respecto al peso, medido en balanza de precisión de

resolución de 0.01 g. Respecto a la medición de las dimensiones, el propio equipo otorga estos valores, teniendo como Largo (L) (De extremo a extremo paralelo a la parte más alta medido en la parte central del pan), ancho (A) (De extremo a extremo perpendicular a la parte más alta medido en la parte central del pan) y alto (T) (Desde la parte más alta hasta la base del pan), como se aprecia en la figura 13.

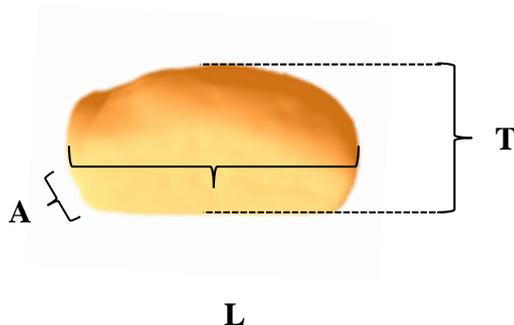


Figura 13. Dimensiones en un pan de molde

a.12.DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE COMPRESIÓN. Utilizando el texturómetro INSTRON. Método recomendado por A.A.C.C. (2005). Se realizó dos horas después de hornear los panes y se les cortó (de la parte central del pan) en rodajas de 2 cm de alto, 2.5 cm de ancho y 2.5 cm de espesor, y fueron sometidos a una carga inicial de 10 gramos, valor que aumentó hasta llegar al 50 por ciento de deformación, descendiendo el cabezal a una velocidad de 102 mm/min o 1.7 mm/s.

a.13.DETERMINACIÓN DE COLOR. Método CIE, con coordenadas $L^*a^*b^*$, empleando el colorímetro digital Minolta. El color de la miga fue medido en el centro de la rebanada de pan por triplicado y el color de la corteza en la parte superior del pan (en el punto medio) por triplicado. Luego se calculó la variación de color con respecto al pan Control (100 % harina de trigo) utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta E = ((\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2)^{\frac{1}{2}}$$

a.14.DETERMINACIÓN DE PH. Método potenciométrico recomendado por A.O.A.C. (2007).

a.15.DETERMINACIÓN DE ACIDEZ TITULABLE. Método volumétrico recomendado por Kirk (2008).

a.16.ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA. Método recomendado por Hernández y Durán (2012), empleando el accesorio yunque de compresión 4" área cuadrada del Texturómetro INSTRON. Se realizó dos horas después de hornear los panes y se les cortó (de la parte central del pan) en rodajas de 2 cm de alto, 2.5 cm de ancho y 2.5 cm de espesor, estos fueron sometidos a una carga inicial de 10 gramos, valor que aumentó hasta obtener el 50 por ciento de deformación, descendiendo el accesorio a 60 mm/min, obteniendo los valores de dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad a partir de la curva de TPA, como se muestra en la Figura 14.

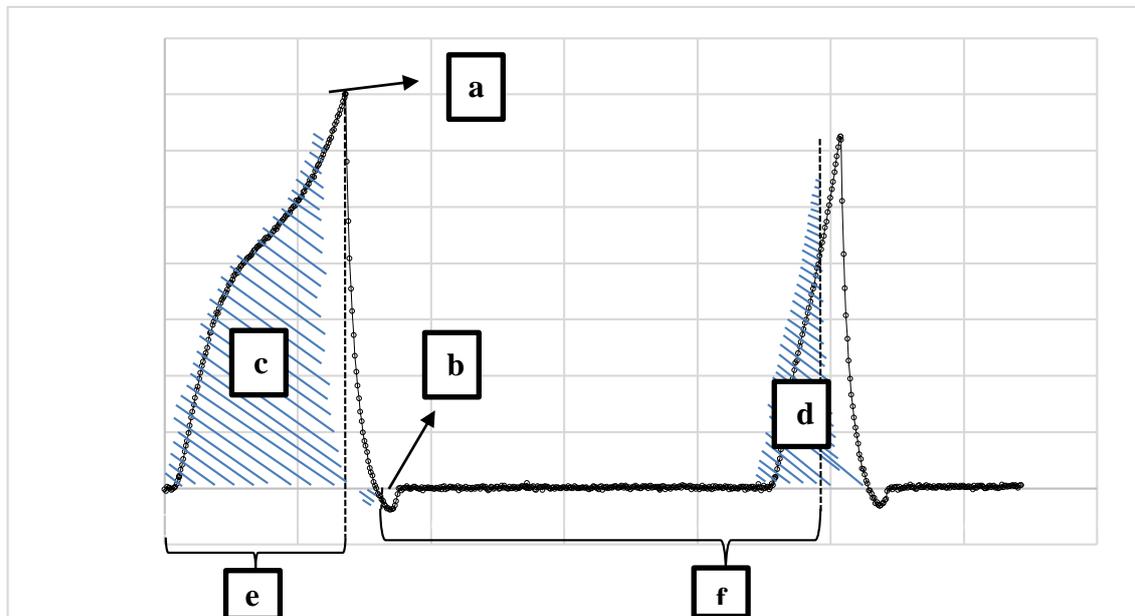


Figura 14. Gráfica del análisis de perfil de textura donde (a) es la dureza, (b) la adhesividad, (d)/(c) es la cohesividad, (f)/(e) es la elasticidad, (a)x(d)/(c) es la gomosidad y (a)x(d)x(f)/((c)x(e)) es la masticabilidad.

b. PRUEBAS QUÍMICAS

b.1. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL. Se determinó humedad por el método de la estufa, recomendado por A.O.A.C. 950.46 (2007); cenizas por el método de incineración en mufla, recomendado por A.O.A.C. 942.05 (2007); proteína cruda por el método de Kjeldahl, recomendado por A.O.A.C. 984.13 (2007); extracto etéreo por el método de extracción con

Soxhlet, recomendado por A.O.A.C. 920.39 (2007); fibra cruda por el método de digestión ácida y alcalina, recomendado por A.O.A.C. 962.09 (2007); y carbohidratos por diferencia del 100 por ciento de la suma del porcentaje de humedad, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y cenizas.

b.2. DETERMINACIÓN DE CALCIO. Método de espectrofotometría por Absorción atómica, recomendado por A.O.A.C. 985.35 (2007). Para la determinación de calcio, se tomó 0.4 g de residuo de las cenizas para pasarlos por una digestión ácida por 10 min a 180°C, alcalina por 15 min a 180°C y 30 min de enfriamiento. A la muestra obtenida de la digestión, se le añadió 5 mL de disolución de ácido nítrico al 2% p/v y se realizaron dos lavados con 2 mL de ácido nítrico al 2% p/v. Finalmente, se tomó una alícuota de 1 mL, se le adicionó 5 mL de óxido de lantano al 0.5% (p/v) y enrasó hasta 25 mL con ácido nítrico al 2% p/v. La muestra fue leída en el espectrofotómetro a una absorbancia de 423 nm y se expresó en porcentaje, que se deriva de la curva de calibración del calcio.

b.3. DETERMINACIÓN DEL VALOR ENERGÉTICO. Se determinó usando los factores de conversión de Atwater según lo recomendado por Riumallo (2017). El cálculo consistió en el siguiente:

$$\text{Valor energético} = 4 \text{ kcal (P)} + 4 \text{ kcal (E)} + 9 \text{ kcal (EE)} + 7 \text{ kcal (A)}$$

Siendo: P=Contenido de proteínas, C= Contenido de ELN, EE= Contenido de extracto etéreo y A= Contenido de alcohol.

b.4. DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES (AR). Método de colorimetría DNS (Ácido 3,5 dinitrosalicílico) recomendado Miller (1959) y Cortes *et al.* (2013). Se realizó la cuantificación de los azúcares reductores tomando la muestra (previamente disuelta en agua destilada y filtrada), se le adicionó DNS y se llevó a baño maría. Luego se agregó agua destilada y Sal de Rochelle, y la muestra fue leída en el espectrofotómetro. Para hallar la concentración, se usó una curva de calibración a partir de una solución de glucosa. El procedimiento detallado se presenta en el Anexo 3.

b.5. DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS. Método de Singleton y Rossi (1965), con algunas modificaciones. Se realizó la cuantificación de compuestos fenólicos tomando 0.5 g de muestra con 10 mL de metanol (CH₃OH) y se llevó a baño maría a 50°C con agitación por 2h. La muestra se centrifugó a 3000 RPM por 15 minutos, se tomó

una alícuota de 0.5mL de muestra (sobrenadante claro) y se le añadió 0.5mL de reactivo de Folin Ciocalteu, se dejó reaccionar por tres minutos y luego se añadió 1.5mL de Carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 20 %. Se dejó reaccionar a temperatura ambiente por 15 minutos protegiendo las muestras de la luz. Posteriormente, se realizó una última centrifugación a 3000 RPM por 15 minutos y la muestra fue leída en el espectrofotómetro a una absorbancia de 725 nm. Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 g de muestra en base seca, que se deriva de la curva de calibración de referencia del ácido gálico.

3.3.2. PRUEBAS SENSORIALES

a. EVALUACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD. Para la evaluación de la aceptabilidad, las cuatro muestras fueron analizadas, en total, por cien panelistas no entrenados. Se utilizó un diseño de bloques incompletos, donde cada panelista solo evaluó dos muestras para evitar la fatiga de los mismos, de acuerdo a lo recomendado por Ramírez (2012). Ellos evaluaron la aceptabilidad general de panes con tres niveles de sustitución de harina de quinua germinada (15, 20 y 25 por ciento) y un control (solo harina de trigo) usando el formato presentado en el Anexo 4. Los panelistas debían marcar con una “X” sobre una recta (la misma que iba desde “Me desagrada mucho” hasta “Me agrada mucho” (Figura 15)), según su opinión.

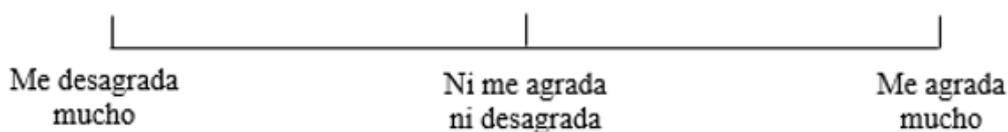


Figura 15. Escala usada en la evaluación de la aceptabilidad

b. PREFERENCIA POR ATRIBUTOS. Color, olor, sabor y textura. Para la evaluación de la preferencia, las muestras fueron analizadas por otros cien panelistas no entrenados. Ellos escogieron el color, olor, sabor y textura, que preferían entre las dos muestras de panes que obtuvieron la mayor aceptabilidad, a través de una prueba de preferencia pareada, usando el formato presentado en el Anexo 5, de acuerdo a lo recomendado por Rodríguez *et al.* (2010). Los panelistas debían marcar con una “X” su preferencia al costado de cada atributo evaluado.

3.3.3. ELECCIÓN DEL MEJOR PAN

Para la elección el mejor pan, se tuvo en cuenta los criterios mencionados por Hernández y Durán (2012), los mismo que indican que para la estimación de la calidad de un pan se deben tener en cuenta tres amplias categorías: calidad interna, calidad externa y calidad asociada a la textura y palatabilidad. Por este motivo, se realizaron los siguientes análisis: volumen específico, esfuerzo requerido para la deformación, color y evaluación sensorial a las cuatro formulaciones, ya que estos permiten evaluar las tres categorías ya mencionadas. Una vez que se tuvo los resultados de los análisis mencionados, se colocó puntajes entre 1 - 4, siendo 1 la puntuación para el peor tratamiento y 4 la puntuación para el mejor tratamiento para cada análisis, respectivamente. Se realizó una gráfica de barras donde se pudo apreciar con claridad el resultado de cada análisis para cada pan y se escogió el pan que tuvo el más alto puntaje en la mayor cantidad de análisis (García, 2011).

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE QUINUA GERMINADA

A continuación, se describe cada una de las operaciones para la obtención de harina de quinua germinada (Figura 16):

- **SELECCIÓN:** Se realizó de manera visual, separando pequeñas pajas y cualquier otra impureza para evitar posibles contaminaciones con granos deteriorados.
- **LAVADO:** Se realizó con agua a temperatura ambiente para eliminar la suciedad.
- **REMOJO:** Se realizó en bandejas de plástico con agua en reposo a temperatura ambiente, hasta llegar a la humedad requerida de 45 por ciento en la semilla (Villacrés *et al.*, 2011). El tiempo para realizar esta etapa fue de seis horas y se realizó un cambio de agua a las tres horas de remojo, basándose en pruebas preliminares.
- **GERMINACIÓN:** El germinado se llevó a cabo en una cámara climática. Los granos se colocaron en nuevas bandejas de plástico, a una temperatura de 20 °C y a una humedad relativa de 85 por ciento (Carciochi *et al.*, 2016). Se detuvo la germinación

a 8, 16, 24, 32, 40 y 48 horas, para poder determinar en cuál de estos tiempos se tuvo el mayor contenido de azúcares reductores.

- SECADO: La quinua germinada fue secada en el secador de bandejas a 37 °C, el proceso de secado terminó cuando se llegó a una humedad de 10 por ciento aproximadamente (Rojas *et al.*, 2010), que se obtuvo a las 10 horas, verificándose esta humedad con un método rápido (balanza infrarroja).
- MOLIENDA: La quinua germinada seca fue molida en un molino rotor a 3000 rpm utilizando la malla de abertura de 0.20 mm.

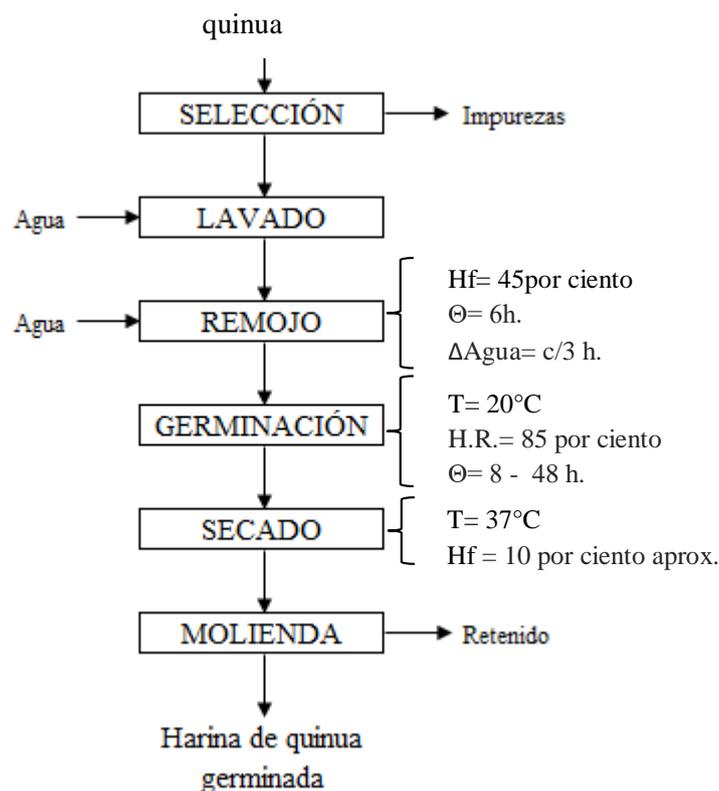


Figura 16. Diagrama de flujo para la obtención de la harina de quinua germinada

FUENTE: Adaptado de Villacrés *et al.* (2011), Carciochi *et al.* (2016), Bravo *et al.* (2013), Rojas *et al.* (2010)

A la harina de quinua germinada que presentó el mayor contenido de azúcares reductores se le realizaron los análisis descritos desde el acápite 3.3.1.b.1. hasta el 3.3.1.b.4. Así como el análisis 3.3.1.a.10 y 3.3.1.a.9 (análisis granulométrico), este último para asegurar que la

harina obtenida tenga similar tamaño al de la harina de trigo que se utilizaría en la elaboración de panes.

3.4.2. ELABORACIÓN DE PAN DE MOLDE

a. FORMULACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE PAN

Para la elaboración de pan se variaron los porcentajes de harina de trigo panadera y harina de quinua germinada, y se mantuvo constante el porcentaje del resto de ingredientes, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8: Formulación de panes

Ingrediente (%)	Porcentaje de sustitución			
	15%	20%	25%	Control
Harina de trigo panadera	85.0	80.0	75.0	100.0
Harina de quinua germinada	15.0	20.0	25.0	0
Agua	50.0	50.0	50.0	50.0
Sal yodada	1.5	1.5	1.5	1.5
Levadura seca instantánea	1.0	1.0	1.0	1.0

FUENTE: Piscocya (2002) y, Dario y Penagos (1985)

b. FLUJO DE OPERACIONES PARA LA ELABORACIÓN DE PAN

A continuación, se describe cada una de las operaciones para la elaboración de cada una de las formulaciones de pan de molde (Figura 17):

- **MEZCLADO:** Se mezclaron en el tazón de la amasadora los insumos secos: la harina de trigo y la sal, previamente pesados, por un tiempo de ocho minutos.
- **1^{er} AMASADO:** Se añadió a la mezcla la levadura seca instantánea y luego el agua, la misma que fue previamente calentada para que al añadirla a la masa pueda activar a la levadura. Esta operación tuvo una duración de cinco minutos.

- 2^{do} AMASADO: Se añadió la harina de quinua germinada y se amasó por 15 minutos más para que se pueda incorporar a la masa. En el caso F4, no se añadió nada en esta etapa.
- DIVISIÓN: La masa fue dividida en porciones de 300 g aprox. y fue colocada en moldes de pan de molde, a los que previamente se les untó manteca para evitar que los panes se peguen.
- FERMENTACIÓN: Se realizó por un tiempo total de 60 minutos en la cámara de fermentación, controlando que la humedad relativa fuese de 75 por ciento y la temperatura de 35 °C.
- HORNEADO: Se realizó por 15 minutos y a 165 °C en horno industrial a convección rotativo. Cabe resaltar que antes de utilizarlo, este fue precalentado.

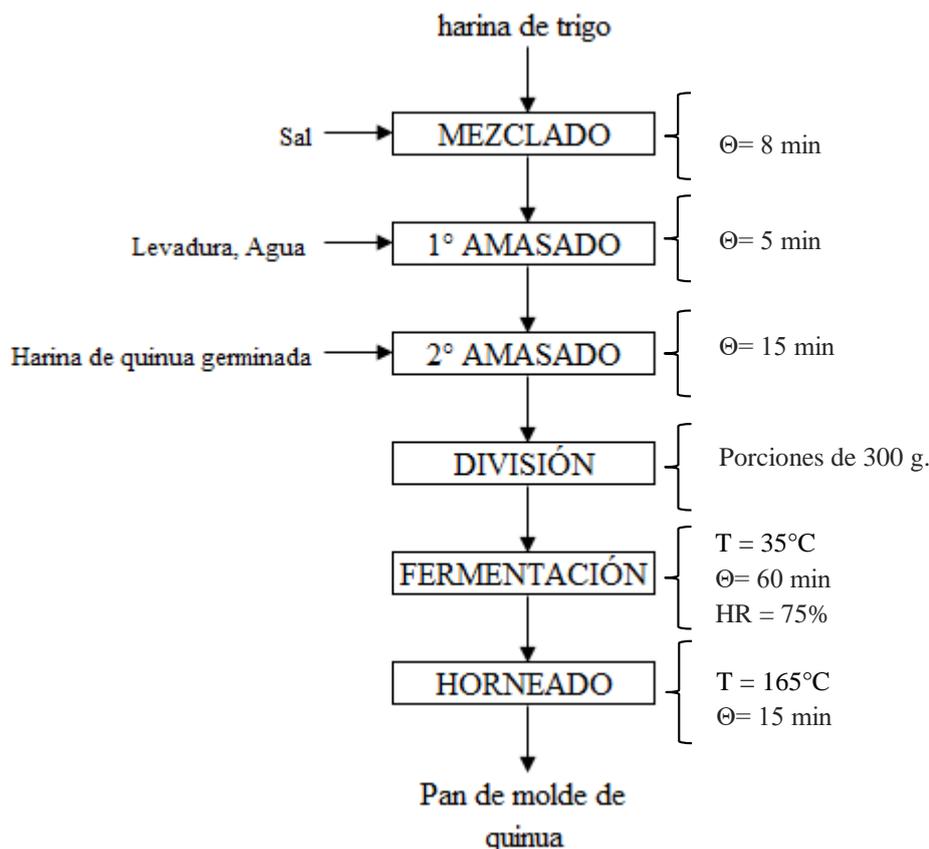


Figura 17. Diagrama de flujo para la elaboración de pan de molde de quinua

FUENTE: Adaptado de Gutiérrez (2014) y Rosell *et al.* (2009)

A las cuatro formulaciones de pan (15, 20 y 25% de sustitución, y control) se le realizaron los siguientes análisis:

- Fisicoquímicos descritos en los acápites 3.3.1.a.11 hasta 3.3.1.a.16, y 3.3.1.b.1 hasta 3.3.1.b.5.
- Sensoriales descritos desde el acápite 3.3.2.a. hasta 3.3.2.b.

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se realizó en tres etapas, la primera consistió en la selección de las quinuas siguiendo los lineamientos de la NTP 205.062.2009, luego se procedió con la germinación de ambas variedades de quinua, las mismas que fueron sometidas a seis tiempos de germinación en el intervalo de 8 a 48 horas (cada 8 horas) y como análisis de decisión se tuvo al contenido de azúcares reductores, puesto que se buscaba tener la mayor cantidad de sustrato para la levadura (usada posteriormente en el pan). Para lo anterior, se realizó una curva donde se relacionó el tiempo de germinación (eje x) (variable independiente) y el contenido de azúcares reductores (eje y) (variable dependiente), escogiéndose la variedad y el tiempo de germinación en el que se tuvo el mayor contenido de azúcares

La segunda etapa consistió en la elaboración de panes con cuatro ingredientes básicos en su composición (harina, agua, levadura y sal) y harina de quinua germinada en diferentes niveles de sustitución (Tabla 8). La mejor formulación fue determinada teniendo en cuenta tres categorías para la estimación de calidad de un pan (Hernández y Durán (2012): calidad interna (evaluación sensorial), calidad externa (color) y calidad asociada a la textura y palatabilidad (volumen específico y esfuerzo requerido para la deformación).

Por último, la tercera etapa consistió en realizar un análisis químico proximal, análisis de calcio, análisis de perfil de textura (cohesividad, gomosidad, masticabilidad e índice de elasticidad) y contenido de compuestos fenólicos al pan de harina de quinua germinada que fue elegido como la mejor formulación. Las tres etapas mencionadas se presentan en la Figura 18.

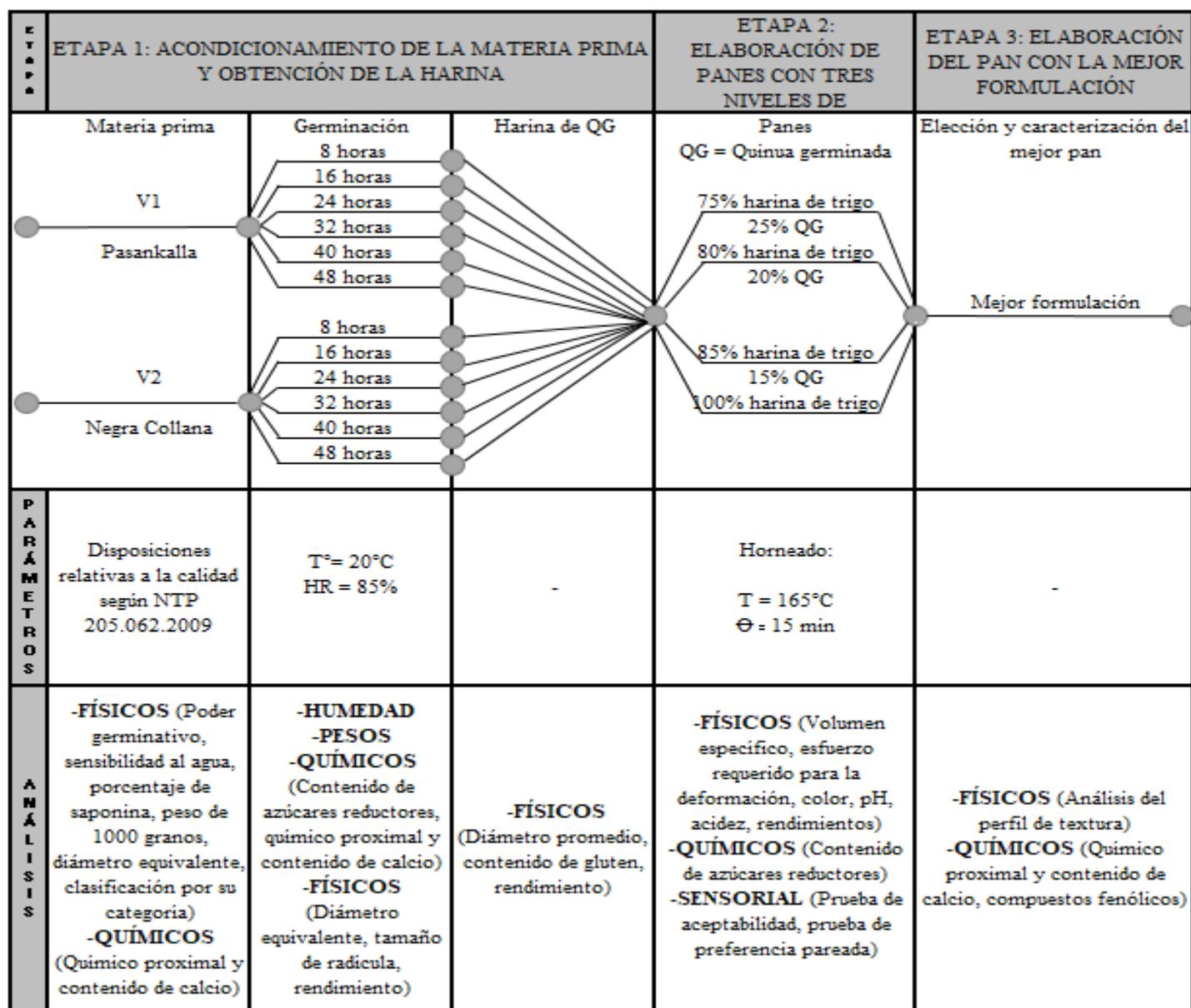


Figura 18. Esquema experimental

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.6.1.PARA LA COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), empleándose dos tipos de pruebas estadísticas según la cantidad de muestras a comparar, esto último recomendado por STATGRAPHICS® para disminuir el error en las pruebas. Para la comparación de dos muestras, se utilizó la prueba estadística “t” a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ para determinar si existía diferencia entre las medias de las muestras en estudio; para la comparación de tres o más muestras, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ para determinar si existía diferencia entre las medias de las muestras en estudio. En caso existiese tal diferencia, se continuaba con la prueba estadística de “Tukey” a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ para comparar por pares las diferencias entre las medias de las muestras en estudio.

Para la evaluación estadística de las pruebas anteriores se utilizó el software STATGRAPHICS Centurion XVI ® para Windows.

3.6.2.PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL

El diseño estadístico empleado se definió en función al tipo de prueba sensorial y a la cantidad de muestras que el panelista iba a evaluar.

Para la evaluación de la aceptabilidad, se utilizó un diseño de bloques incompletos (DBI), de acuerdo a lo recomendado por Meilgaard *et al.* (1991), empleándose la prueba estadística de “Durbin” a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ para determinar si existía diferencia entre las medias de las muestras en estudio. En caso existiese tal diferencia, se continuaba con la prueba estadística de comparaciones múltiples “Método de Scheffé” para comparar por pares las diferencias entre las medias de las muestras en estudio.

Para la evaluación de la preferencia respecto a los atributos color, olor, sabor y textura, se utilizó la prueba no paramétrica de preferencia pareada, empleándose la prueba estadística del “Signo”, de acuerdo a lo recomendado por Rodríguez (2010), a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ para determinar si existía preferencia (por cada uno de los atributos mencionados) entre las muestras.

A excepción de la prueba de Durbin que fue evaluada con el software estadístico XL STAT® para Windows, las otras pruebas fueron evaluadas usando el software STATGRAPHICS Centurion XVI® para Windows.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. MATERIA PRIMA

4.1.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

a. ANÁLISIS FÍSICOS

En la Tabla 9, se presentan los resultados de cinco análisis físicos realizados a ambas semillas de quinua. Según Arenas y Heredia (2017), los dos primeros (poder germinativo y sensibilidad al agua) hacen referencia a cualidades primarias y los dos últimos (peso de 1000 gramos y diámetro equivalente) a cualidades secundarias.

Tabla 9: Análisis físicos realizados a quinua Pasankalla y Negra Collana

Parámetro	Unidad	Quinua Pasankalla	Quinua Negra Collana
Poder germinativo ⁽¹⁾	%	97.00 ± 1.00 ^a	98.00 ± 0.00 ^a
Sensibilidad al agua ⁽¹⁾	%	78.33 ± 4.04 ^a	90.67 ± 1.53 ^b
Porcentaje de saponina ⁽¹⁾	%	0.02 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.01 ^b
Peso de 1000 granos ⁽¹⁾	g	3.37 ± 0.10 ^a	2.17 ± 0.04 ^b
Diámetro equivalente ⁽²⁾	mm	1.69 ± 0.06 ^a	1.42 ± 0.05 ^b

(1) promedio de 3 repeticiones ± DE. Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma fila muestran diferencias significativas según la prueba t ($p < 0.05$).

(2) promedio de 30 repeticiones ± DE. Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma fila muestran diferencias significativas según la prueba t ($p < 0.05$).

a.1. PODER GERMINATIVO

El conocimiento del poder germinativo de las semillas es esencial para la toma de decisiones, asegurando con ello que las semillas germinarán y tendrán una emergencia rápida y uniforme. Por este motivo, fue necesario conocer el poder germinativo de las quinuas antes de realizarle otras pruebas.

En la Tabla 9, el poder germinativo de ambas semillas no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$). Según Rubio (2000), para la cebada, se considera que un grano está apto para el malteo cuando su poder germinativo es igual o superior a 95 por ciento en cinco días de germinación. En este caso, ambas variedades germinaron en porcentajes superiores a 95 en cinco días, es decir, se les consideraría aptas para el malteo. Para el caso específico de la quinua, Arenas y Heredia (2017) obtuvieron un poder germinativo de 91 por ciento, valor inferior a los valores presentados en la Tabla 9. Ambas variedades de quinua presentaron un poder germinativo superior, esto debido a la corta dormancia y a la ausencia del uso de insecticidas en el manejo durante su almacenamiento, según indicaron los proveedores de ambas.

Cabe resaltar que las primeras evidencias de la germinación se empezaron a observar a las seis horas, a diferencia de la cebada (cereal más germinado a nivel mundial) que demora mucho más en empezar a germinar, esto se debería a la ausencia de cáscara gruesa en la quinua, lo que permite una absorción más rápida del agua (Nieto, 1984).

a.2. SENSIBILIDAD AL AGUA

Como se aprecia en la Tabla 9, si existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la sensibilidad al agua de las variedades de quinua. La variedad Negra Collana mostró insensibilidad al agua obteniendo valores de casi 91 por ciento (Figura 19), cercanos a los reportados por Nieto (1984) de 94 por ciento, es decir, la semilla no es afectada por un exceso de agua. Por otro lado, la variedad Pasankalla mostró sensibilidad al agua (Figura 19), ya que poco menos del 80 por ciento de los granos germinaron. La importancia de esta prueba rige en que define si el grano será afectado o no por un exceso de agua durante el remojo, y

si este ha sido capaz de desarrollar mecanismos adaptativos que le permiten desarrollarse en condiciones adversas (Pita y Pérez, 1998).

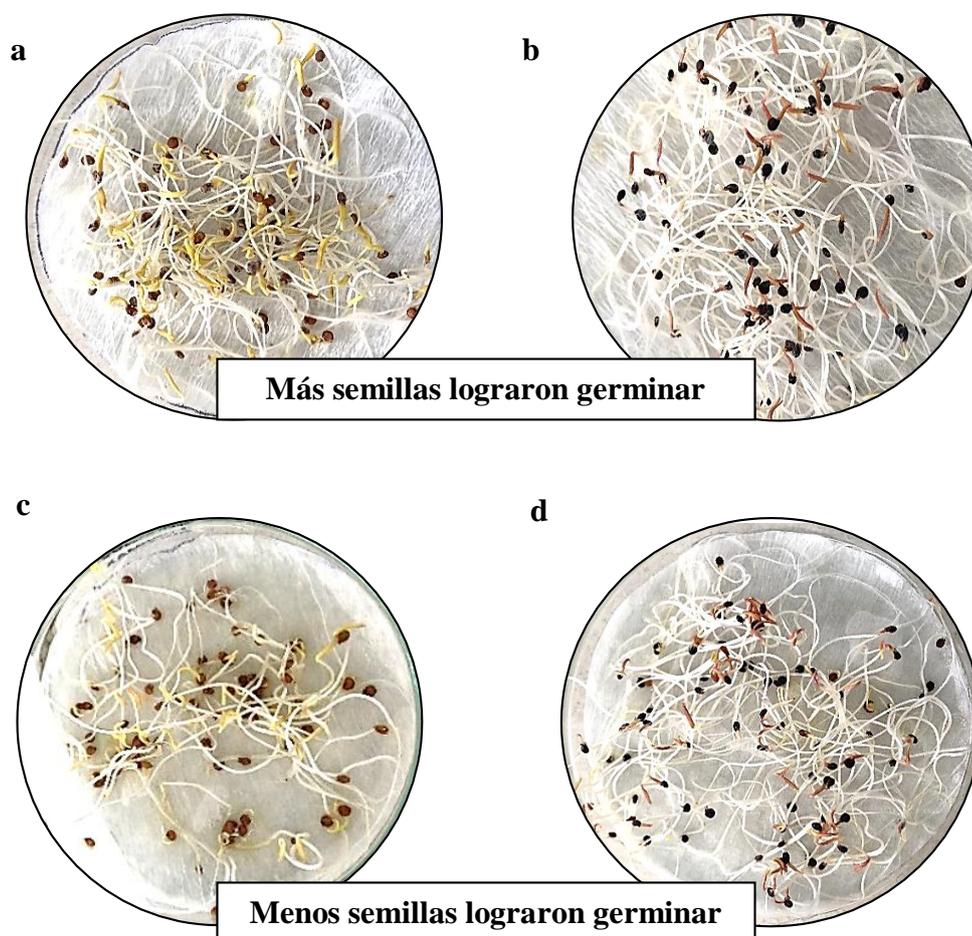


Figura 19. Prueba de poder germinativo quinua (a) Pasankalla y (b) Negra Collana, y prueba de sensibilidad al agua (c) Pasankalla y (d) Negra Collana

a.3. PORCENTAJE DE SAPONINA

El porcentaje de saponina mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre ambas variedades, teniendo como la variedad de menor contenido a la Pasankalla con valores de 0.02 por ciento frente a la variedad Negra Collana con valores de 0.05 por ciento. Ambos valores son cercanos a los contenidos de saponina para Pasankalla y Negra Collana (0.00 por ciento) mencionados por Apaza *et al.* (2013). Para el caso de Negra Collana, INIA (2008) indica que el contenido de saponina puede encontrarse en el rango de 0.015 a 0.018 por ciento. El valor obtenido es ligeramente superior a este último. Sin embargo, es mucho

menor comparado con otras variedades como Piartal (0.16%) (Romo *et al.*, 2006), Quillahuaman INIA (3.00 por ciento) o Amarilla Marangani (7.00 por ciento) (Apaza *et al.*, 2013).

Según Torres y Chávez (2016), la quinua puede ser clasificada en base a su contenido de saponinas como: dulce y amarga. Aquellas variedades que presentan un contenido de saponinas menor a 0.06 por ciento son clasificadas como dulces. Debido al contenido de saponinas, ambas variedades se consideran dulces.

a.4. PESO DE 1000 GRANOS

El peso de 1000 granos mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) entre ambas variedades, teniendo como la variedad de mayor peso a la Pasankalla con 3.37 g frente a la Negra Collana con 2.17 g. Esta diferencia de pesos responde a características de cada variedad y a su vez a las condiciones de manejo agronómico. Además, otro factor que puede influir es la densidad de plantas en el campo que afecta directamente al crecimiento del grano y con ello, al peso final de los mismos (Rosas, 2015).

Los datos obtenidos se encuentran dentro del rango propuesto por Mujica *et al.* (2001) de 1.2 a 6 gramos variando según los cultivares y condiciones de estrés. Estos datos son similares a los que reporta Rosas (2015) siendo para Pasankalla, 3.42 g y para Negra Collana, 2.27 g. Asimismo, estos valores también son cercanos a los reportados por INIA (2016) y Apaza *et al.* (2013), el primero reportó valores de 3.60 g y 2.03 g para Pasankalla y Negra Collana, respectivamente., y el segundo reportó valores de 3.30 g y 2.03 g para Pasankalla y Negra Collana, respectivamente.

a.5. DIÁMETRO EQUIVALENTE

El diámetro equivalente de las semillas mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre ambas variedades. Sin embargo, los resultados permitieron clasificarlas a ambas como medianas, ya que se encontraban dentro del rango 1.40 - 1.69 mm, según la NTP 205.062 (2009). Asimismo, según IBNORCA (2007), también se les clasifica como medianas por encontrarse dentro del rango de 1.40 – 1.70 mm.

Por otro lado, ambos diámetros equivalentes son menores a los reportados por Apaza *et al.* (2013) de 2.10 mm y 1.60 mm para Pasankalla y Negra Collana, respectivamente. Cabe resaltar que por más que no tenían diámetros similares a los propuestos por los autores anteriores, si se mantuvo la proporción de que la Pasankalla tenía mayor diámetro equivalente que la Negra Collana.

a.6. CLASIFICACIÓN POR SU CATEGORÍA

La categoría de los granos de quinua se determinó por los valores porcentuales de las características citadas en la Tabla 10 en contraste con las tolerancias admitidas por la NTP 205.062 (2009) (Anexo 2).

El principal defecto encontrado en ambas variedades fue granos dañados y es este defecto el que determina que ambos granos sean considerados de Categoría 2 (Tabla 10).

Tabla 10: Parámetros para determinar la calidad de granos de quinua

Parámetros	Unidad	Quinua Pasankalla	Quinua Negra Collana
Granos enteros	%	97.44 ± 0.51	97.78 ± 0.19
Granos quebrados	%	0.56 ± 0.19	1.44 ± 0.19
Granos dañados	%	1.67 ± 0.33	0.44 ± 0.19
Granos germinados	%	0	0
Granos recubiertos	%	0.33 ± 0.00	0.33 ± 0.00
Granos inmaduros	%	0	0
Impurezas totales	%	0	0
Piedrecillas en 100g de muestra	unidades	0	0
Granos contrastantes	%	0	0
Insectos (enteros, partes o larvas)	unidades	0	0
CATEGORÍA	-	2	2

b. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL Y CONTENIDO DE CALCIO

En la Tabla 11, se presentan los resultados obtenidos del análisis proximal y de calcio de ambas variedades de quinua, en base seca.

Tabla 11: Tabla comparativa de análisis químico proximal, de calcio y energético de materias primas (100% base seca)

Análisis	Unidad	Quinua Pasankalla	Quinua Negra Collana
Materia seca ⁽¹⁾	%	89.63 ± 0.05 ^a	90.15 ± 0.05 ^b
Proteína ⁽¹⁾	%	14.08 ± 0.02 ^a	15.06 ± 0.09 ^b
Extracto etéreo ⁽¹⁾	%	6.93 ± 0.08 ^a	6.66 ± 0.11 ^b
Fibra cruda ⁽¹⁾	%	4.08 ± 0.10 ^a	4.41 ± 0.13 ^b
Cenizas ⁽¹⁾	%	2.28 ± 0.20 ^a	2.48 ± 0.17 ^a
ELN ^{(1) (2)}	%	72.62 ± 0.06 ^a	71.39 ± 0.35 ^b
Calcio ⁽¹⁾	%	0.13 ± 0.01 ^a	0.11 ± 0.01 ^b
Valor energético ⁽³⁾	Kcal	418.29	415.66

(1) promedio de 3 repeticiones ± DE. Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma fila muestran diferencias significativas según la prueba t ($p < 0.05$).

(2) Extracto Libre de Nitrógeno.

(3) Estimados a través de los factores de conversión de Atwater, según lo indicado por Riumallo (2017).

Al comparar estadísticamente los diferentes componentes del análisis químico proximal de ambas variedades, en general, mostraron diferencia significativa ($p < 0.05$) en el contenido de la mayoría de nutrientes. A excepción del contenido de cenizas, el cual fue estadísticamente similar ($p > 0.05$) en ambas variedades.

Estos resultados también fueron comparados con los estudios de Apaza *et al.* (2013), Arzapalo *et al.* (2015) y Estrada *et al.* (2013) en quinua Pasankalla y Negra Collana, obteniendo las principales diferencias en el contenido de cenizas, fibra, extracto etéreo y

ELN (para ambas variedades). Los valores reportados por los autores en mención fueron diferentes a los obtenidos experimentalmente, esta variación es explicada por Gonzalez *et al.* (2012) quienes mencionan que existe una clara variación en el rendimiento de semillas, contenido de fibra, cenizas, total de proteínas y composición de aminoácidos entre los cultivares de diferentes regiones agroecológicas, es decir, el contenido de los nutrientes mencionados se verá influenciado por el lugar donde son sembradas las semillas.

De manera puntual, la NTP 205.062 (2009) señala que los granos de quinua deben tener como máximo un contenido de humedad de 13.5 por ciento. Asimismo, Cerovich y Miranda (2004) indican valores máximos de 12 por ciento de humedad para los granos, ya que a mayores humedades son más susceptibles de absorber o liberar humedad con facilidad, además del deterioro microbiano. Los granos con los que se trabajó cumplen con ambas disposiciones, ya que presentaron humedades de 10.37 y 9.85 por ciento para Pasankalla y Negra Collana, respectivamente.

Respecto al contenido de proteínas, existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras, siendo el mayor contenido obtenido por la variedad Negra Collana. Este valor e inclusive el de la variedad Pasankalla fueron superiores al reportado por Repo Carrasco *et al.* (2010) que fue de 12.61 por ciento para diez variedades de quinua (de color rojo, negro y amarilla) y a los valores 12.68 y 11.19 por ciento reportados por Arzapalo *et al.* (2015) para Pasankalla y Negra Collana, respectivamente. Sin embargo, fueron inferiores a los reportados en el catálogo de variedades de quinua en el Perú de Apaza *et al.* (2013), valores de 17.83 y 17.62 por ciento para Pasankalla y Negra Collana, respectivamente.

Respecto al contenido de cenizas, no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) entre ambas variedades. Los valores obtenidos son inferiores a los reportados por Apaza *et al.* (2013), 2.83 y 2.13 por ciento para Pasankalla y Negra Collana, respectivamente; Vidaurre *et al.* (2017), 3.11 y 2.45 por ciento, respectivamente; Arzapalo *et al.* (2015), 3.5 y 2.94 por ciento, respectivamente.

Respecto al contenido de carbohidratos, el mayor contenido lo obtuvo la variedad Pasankalla existiendo diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras. Los valores obtenidos son superiores a los reportados por Ahamed *et al.* (1996) de 59 y 64 por ciento para Pasankalla

y Negra Collana, respectivamente, y menores a los reportados por Arzapalo *et al.* (2015) de 80.56 y 77.92 por ciento, respectivamente. Por otro lado, Bejarano *et al.* (2002) reportan valores promedios de 71.6 por ciento para las diversas variedades de quinuas, valor muy cercano al obtenido experimentalmente en ambas variedades. Asimismo, cabe resaltar que el contenido de carbohidratos en quinua es superior al de la avena, cañihua y kiwicha (69.2, 62.2 y 67.4 por ciento, respectivamente) e inferior al del arroz, maíz y trigo (77.7, 73.8 y 76.1 por ciento, respectivamente) Bejarano *et al.* (2002).

Respecto al contenido de calcio, al comparar estadísticamente ambas variedades se comprobó que mostraron diferencia significativa ($p < 0.05$) en el contenido de este, siendo mayor en la quinua Pasankalla.

Diversos autores reportan contenidos de calcio inferiores a los obtenidos experimentalmente, como son el caso de Chaparro (2011) y Bravo *et al.* (2013) quienes mencionan valores de 0.057 y 0.085 por ciento de calcio, respectivamente, para la quinua. Villacrés *et al.* (2011) reportan valores de 0.09 y 0.06 por ciento para la variedad Pata de Venado y Tunkahuan, respectivamente. Sin embargo, Chacchi (2009) y Romo *et al.* (2006) reportan valores de contenido de calcio similares a los que se obtuvieron, 0.13 y 0.15 por ciento, respectivamente, para la quinua. La importancia de este mineral en la quinua es que se encuentra presente en mayor porcentaje que en otros cereales y leguminosas como el arroz (0.03%), trigo (0.05%) y frijol (0.11%) (Romo *et al.*, 2009).

4.2. GERMINACIÓN

Ambas variedades de quinua fueron germinadas a seis diferentes tiempos: 8, 16, 24, 32, 40 y 48 horas, teniendo el resto de condiciones constantes. Al finalizar cada período de tiempo, se determinaba el efecto de la germinación sobre la humedad y peso final. Luego las quinuas fueron secadas y convertidas en harina para determinar el contenido de azúcares reductores (AR) en cada tiempo (tres repeticiones por cada tiempo).

4.2.1.EFECTO SOBRE LA HUMEDAD

En la Figura 20, se presentan las humedades en los diferentes tiempos de germinación para ambas variedades.

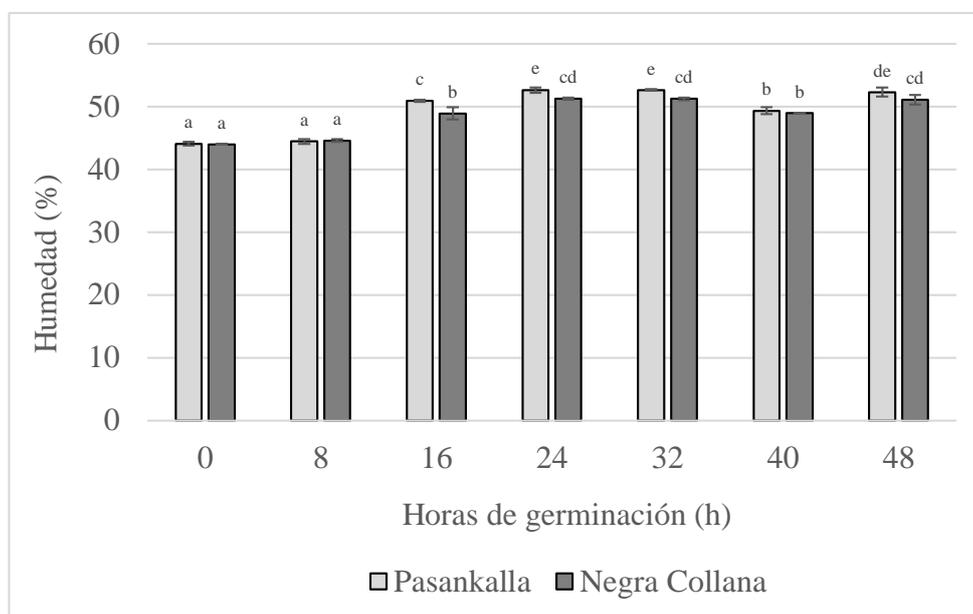


Figura 20. Humedad de quinua Pasankalla y Negra Collana a 0, 8, 16, 24, 32, 40 y 48 horas de germinación

Cada barra representa el promedio de tres repeticiones con su respectiva desviación estándar, letras diferentes sobre las barras muestran diferencias significativas según la prueba de múltiples rangos Tukey ($p < 0.05$).

En primer lugar, si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los contenidos de humedad de cada bloque (variedad). En segundo lugar, se obtuvo que existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las humedades a las 16, 24, 32 y 48 horas de germinación entre bloques.

Al término de la germinación de 48 h se tuvo una humedad promedio de 52 por ciento para ambas variedades, esto debido al proceso de crecimiento del embrión y de las raicillas (Salas, 2010). El autor anterior menciona que la quinua, kiwicha y cañihua llegaron a tener humedades similares a la que se obtuvo (entre 55-57 por ciento) cuando eran germinadas por 48 h. En este caso, ambas quinuas partieron con un 44 por ciento de humedad, logrando un incremento de ocho por ciento.

La germinación se realizó en una cámara climática controlada a 85 por ciento de humedad. Se decidió controlar la humedad, ya que este es un factor muy importante para poder regular el proceso de germinación y obtener una germinación más uniforme de todos los granos, contenidos de humedad más altos causan modificaciones mayores y más rápidas que en los granos con bajos contenidos de humedad, acelerándose también el crecimiento del embrión y la formación de las raicillas ocasionando mayores pérdidas durante el malteo (Salas, 2010).

4.2.2.EFECTO SOBRE EL PESO

En la Figura 21, se presentan los pesos en los diferentes tiempos de germinación para ambas variedades.

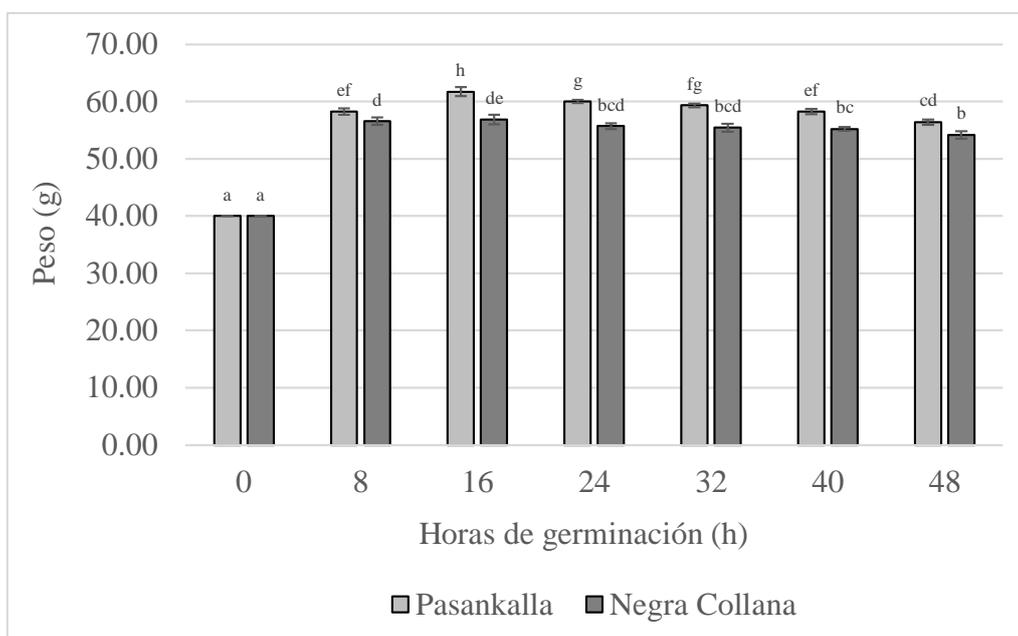


Figura 21. Pesos finales (g) de quinua Pasankalla y Negra Collana a 0, 8, 16, 24, 32, 40 y 48 horas de germinación

Cada barra representa el promedio de tres repeticiones con su respectiva desviación estándar, letras diferentes sobre las barras muestran diferencias significativas según la prueba de múltiples rangos Tukey ($p < 0.05$).

En primer lugar, si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los pesos de cada bloque (variedad). En segundo lugar, se obtuvo que también existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los pesos a 8, 16, 24, 32, 40 y 48 horas de germinación entre bloques.

La variación del peso a lo largo de las 48 h fue variable, teniéndose el mayor incremento a las 16 h, incrementándose en más de la mitad con respecto al peso inicial. Se sabe que la variación del peso durante el proceso de germinación guarda una relación directa con la ganancia/pérdida del contenido de agua (humedad).

4.2.3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

a. ANÁLISIS QUÍMICOS

a.1. CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES (AR)

En la Figura 22, se presenta la variación en la concentración de AR en los diferentes tiempos de germinación para ambas variedades.

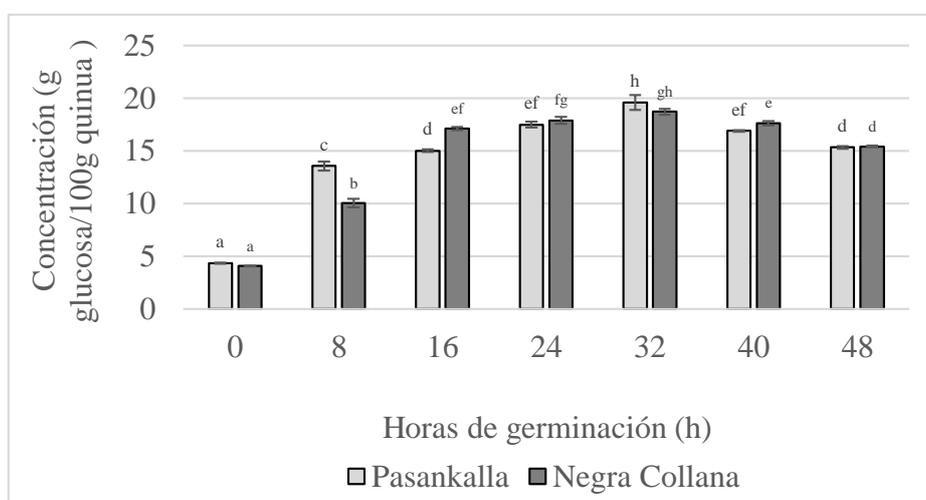


Figura 22. Contenido de azúcares reductores (expresado g glucosa/100g quinua) de quinua Pasankalla y Negra Collana a 0, 8, 16, 24, 32, 40 y 48 horas de germinación

Cada barra representa el promedio de tres repeticiones con su respectiva desviación estándar, letras diferentes sobre las barras muestran diferencias significativas según la prueba de múltiples rangos Tukey ($p < 0.05$).

En primer lugar, no existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el contenido de AR de cada bloque (variedad), es decir, a nivel estadístico, ambas variedades tenían el mismo

contenido inicial de AR. Por este motivo, se decidió germinar ambas variedades a seis diferentes tiempos para evaluar cual de ellas generaba el mayor contenido de AR.

En segundo lugar, se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la mayoría de contenidos de AR a los diferentes tiempos de germinación entre bloques, obteniéndose el mayor contenido en la quinua Pasankalla germinada a 32 h (19.62 g glucosa/100g quinua).

Estrada *et al.* (2013) obtuvieron valores de AR de 4,07 y 3,35 g glucosa/100g de quinua para las variedades Pasankalla y Negra Collana, respectivamente; estos valores son ligeramente inferiores a los que se obtuvieron 4.37 y 4.09 g glucosa/100g de quinua para ambas variedades, respectivamente.

De manera general, Repo-Carrasco (1992) menciona que los azúcares reductores durante la germinación de la quinua tienden a incrementar hasta el día 1 (20,0) de germinación y luego tienden a disminuir con el paso de los días: día 2 (15,0) y día 3 (14,0). Los valores obtenidos evidencian que el contenido de AR se incrementó hasta las 32 h (pico máximo de AR para ambas variedades), debido a la degradación del almidón de la semilla por parte de la β amilasa (principalmente), así como las α amilasas, fosforilasas y α galactosidasas, estas últimas encargadas de hidrolizar los oligosacáridos de la familia de la rafinosa a azúcares de menor tamaño (Pezúa, 2017). Las enzimas mencionadas conducen a la hidrólisis parcial del almidón en glucosa, maltosa, maltotriosa y una amplia gama de dextrinas (Ayerbor y Ocloo, 2007). Después de las 32 h, el contenido de AR comenzó a disminuir, esto se explicaría, ya que, al acelerarse las reacciones metabólicas, estas demandan mayores cantidades de energía que serían conseguidas de los carbohidratos que se encuentran más fácilmente disponibles (AR), ocasionando un aumento del consumo de estos.

Cabe resaltar que, a las 32 h, el contenido de AR fue de 19.62 g glucosa/100 g de quinua b.s. para Pasankalla y de 18.74 g glucosa/100 g de quinua para Negra Collana, valores que triplicaron el contenido de AR de las materias primas. Por este motivo y teniendo en cuenta que la cantidad de AR de una harina afecta a las propiedades fermentativas de la masa panaria, se escogió a las 32 h como la mejor germinación, específicamente a la variedad Pasankalla, ya que fue con la que se obtuvo el mayor contenido de AR.

a.2. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL Y CONTENIDO DE CALCIO

En la Tabla 12, se presentan los resultados obtenidos del análisis químico proximal de la quinua Pasankalla sin germinar y germinada 32 h, en base seca.

Tabla 12: Tabla comparativa de análisis químico proximal, de calcio y energético de quinua Pasankalla sin germinar y germinada 32 h (100% base seca)

Análisis	Unidad	Quinua Pasankalla	Quinua Pasankalla germinada 32 h
Materia seca ⁽¹⁾	%	89.63 ± 0.05 ^a	89.15 ± 0.05 ^b
Proteína ⁽¹⁾	%	14.08 ± 0.02 ^a	15.45 ± 0.14 ^b
Extracto etéreo ⁽¹⁾	%	6.93 ± 0.08 ^a	5.64 ± 0.09 ^b
Fibra cruda ⁽¹⁾	%	4.08 ± 0.10 ^a	5.41 ± 0.23 ^b
Cenizas ⁽¹⁾	%	2.28 ± 0.20 ^a	2.12 ± 0.28 ^a
ELN ⁽¹⁾⁽²⁾	%	72.62 ± 0.06 ^a	71.38 ± 0.35 ^b
Calcio ⁽¹⁾	%	0.13 ± 0.01 ^a	0.56 ± 0.01 ^b
Valor energético ⁽³⁾	Kcal	418.29	406.56

(1) Promedio de 3 repeticiones ± DE. Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma fila muestran diferencias significativas según la prueba t ($p < 0.05$).

(2) Extracto Libre de Nitrógeno.

(3) Estimados a través de los factores de conversión de Atwater, según lo indicado por Riumallo (2017).

Se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el contenido de materia seca, proteína, extracto etéreo, fibra cruda y ELN de la quinua Pasankalla sin germinar y germinada 32 h, siendo el contenido de cenizas el único estadísticamente similar ($p < 0.05$) entre ambas quinuas.

Respecto al contenido de proteínas, los resultados de la Tabla 12 muestran un incremento del 9.73 por ciento en la quinua germinada respecto a la quinua sin germinar, este incremento es mucho mayor al obtenido por Bravo *et al.* (2013) de tan solo 1.16 por ciento, para el mismo caso. Aguilar *et al.* (2019) germinó tres variedades de quinua obteniendo incrementos del contenido de proteínas solo en una de estas, indicando que el incremento o disminución

de este componente depende del metabolismo del grano. Pezúa (2017) afirma que el incremento del contenido de proteínas se debería a que la digestibilidad proteica se incrementa y el contenido de aminoácidos libres también debido a la mayor actividad de las proteasas y a la reducción de factores no nutritivos como el ácido fítico o los taninos condensados que interaccionan con proteínas, formando complejos menos susceptibles al ataque proteolítico. Cabe resaltar que las diferencias entre el contenido de proteínas de granos germinados y no germinados, por lo general, son menores al 10%, lo que indica que la germinación no afecta sustancialmente el contenido total de proteínas, mas si afecta positivamente la solubilidad y digestibilidad proteica (Lemmens *et al.*, 2018) . Para el caso del mijo y sorgo, estos aumentaron su digestibilidad proteica de 34 a 55% y de 50 a 65%, respectivamente (Afify *et al.*, 2012).

Respecto al contenido de extracto etéreo, los resultados de la Tabla 12 muestran la disminución del 18.61 por ciento en la quinua germinada respecto a la quinua sin germinar, esto debido a que las lipasas y lipoxigenas aumentan gradualmente a lo largo de la germinación provocando la hidrólisis de los lípidos, para ser utilizados como fuente de energía para la síntesis de proteínas (Czukur, 2000). Asimismo, Hough (1990) menciona que esta energía también es utilizada para el crecimiento del embrión y se ve reflejada en un aumento de la frecuencia respiratoria (Bewley *et al.*, 2012). Para el caso de los lípidos, la temperatura de germinación juega un rol muy importante, ya que conforme está aumenta, hay mayor hidrólisis lipídica, como ejemplo Lemmens *et al.* (2018) mencionan que el contenido de lípidos en mijo germinado disminuyó de 18 a 28% cuando se trabajó a 22 y 32°C, respectivamente.

Respecto al contenido de fibra cruda, los resultados de la Tabla 12 muestran un incremento del 32.60 por ciento en la quinua germinada respecto a la quinua sin germinar, esto debido al desarrollo de las raicillas durante el malteo, las cuales no son eliminadas en su totalidad en la harina, incrementando así el contenido de fibra cruda.

Respecto al contenido de cenizas, los resultados de la Tabla 12 muestran la disminución del 7.02 por ciento en la quinua germinada respecto a la quinua sin germinar frente a pérdidas de 24% presentadas por Aguilar *et al.* (2019) para la misma variedad. Las pérdidas se producen debido a la lixiviación durante el remojo (Hough, 1990) y al requerimiento de

minerales como coenzimas para la catálisis de carbohidratos y proteínas que se trasladan a la radícula (Bewley *et al.*, 2012). Además otros autores como Quinde (1995) y, Almeyda y Rooney (1994) reafirman que esta caída en el porcentaje de cenizas no es significativa y también se evidencia en germinados de lenteja, alfalfa, soya y sorgo. De manera general, Lupano (2013) afirma que la germinación no influye sobre la composición mineral de las semillas.

Respecto al contenido de ELN, los resultados de la Tabla 13 muestran la disminución del 1.71 por ciento en la quinua germinada respecto a la quinua sin germinar, esto se debió a que los carbohidratos son degradados para producir energía para la síntesis de proteínas y crecimiento del embrión (Pezúa, 2017). Cabe resaltar que por más que el contenido de ELN no varíe mucho cuantitativamente, si hay un gran cambio cualitativamente, ya que los hidratos de carbono insolubles (almidón, inulina) son degradados por hidrolasas a monosacáridos solubles, como la glucosa, fructosa, entre otros (Pezúa, 2017).

Por último, respecto al contenido de calcio, se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la quinua sin germinar y la quinua germinada, teniéndose un incremento de más del triple del contenido inicial respecto a esta última. Cabe mencionar que, durante la germinación se activan las fitasas endógenas, hidrolizando al ácido fítico mediante rotura del enlace ester, reduciéndose el número de fosfatos y quedando IP5, IP4, IP3 y posiblemente inositoles di y monofosfato (IP2 e IP1) (Frontela. 2007), dando como resultado el aumento de la biodisponibilidad de minerales como el calcio (Pezúa, 2017). Esta técnica de hidrólisis del ácido fítico mediante la germinación es una estrategia muy prometedora para mejorar la biodisponibilidad de minerales en cereales y granos andinos (Lemmens *et al.*, 2018). Sin embargo, el método de cuantificación de calcio utilizado incluye una incineración, etapa en la que se estarían destruyendo los fitatos y el incremento del contenido de calcio se debería principalmente al medio de germinación.

Hübner *et al.* (2010) y Bravo *et al.* (2013) analizaron el contenido de calcio antes y después de la germinación de avena y quinua, respectivamente, pasando de contenidos iniciales de 0.021 y 0.085 por ciento a contenidos finales de 0.033 y 0.41 por ciento, respectivamente. Esta misma tendencia del incremento significativo del contenido de calcio se mantuvo en la investigación.

b. ANÁLISIS FÍSICOS

En la Tabla 13, se presentan los resultados de los cuatro análisis físicos realizados al grano de quinua Pasankalla germinada 32 h.

Tabla 13: Análisis físicos realizados a la quinua Pasankalla germinada 32h

Parámetro	Unidad	Quinua Pasankalla germinada 32 h
Diámetro equivalente ⁽¹⁾	mm	1.81 ± 0.02
Tamaño de radícula ⁽¹⁾	mm	11.85 ± 0.89
Rendimiento de malta ⁽²⁾	%	91.00 ± 1.01
Rendimiento quinua germinada respecto mp ⁽²⁾	%	90.04 ± 1.25

(1) Promedio de 30 repeticiones ± DE.

(2) Promedio de 3 repeticiones ± DE.

b.1. DIÁMETRO EQUIVALENTE

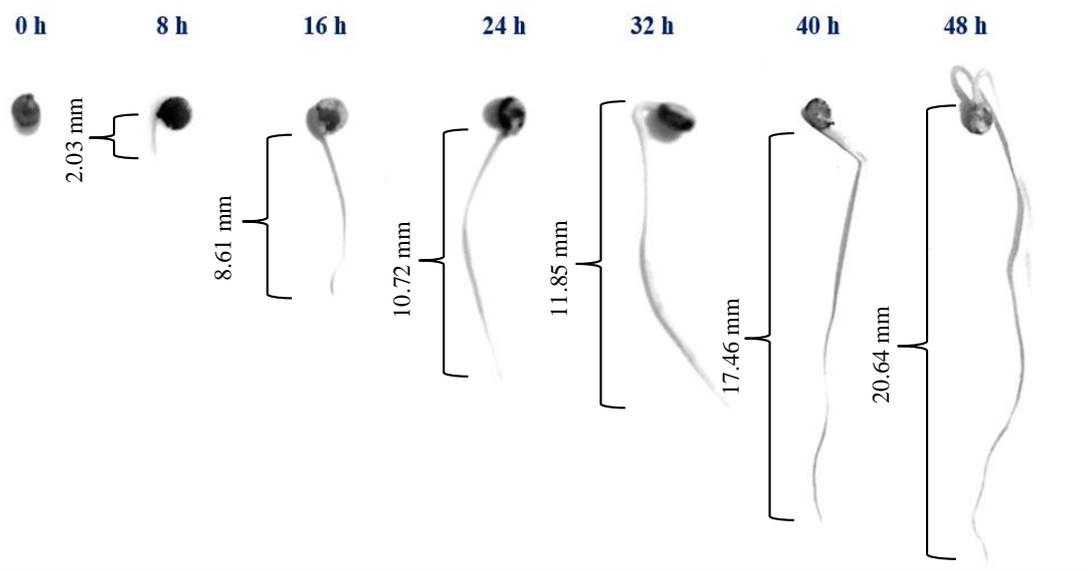
El diámetro equivalente de la quinua Pasankalla germinada 32 h fue 7.1 por ciento mayor que el de la quinua Pasankalla sin germinar (Tabla 9), esto debido a que durante la primera (hidratación) y tercera (crecimiento) fase de la germinación, la semilla absorbe gran cantidad de agua lo que provoca el hinchamiento de la misma (Pezúa, 2017) y, por ende, el aumento de su tamaño que se ve reflejado en el diámetro equivalente.

b.2. TAMAÑO DE RADÍCULA

El tamaño promedio de radícula a las 32 h de germinación para la variedad Pasankalla fue de 11.85 mm, acorde con las recomendaciones de Salas (2010) quien propone un valor máximo de 22mm, debido a que radículas más grandes ocasionan pérdidas de nitrógeno, ya que durante la germinación hay una translocación del nitrógeno de la semilla a la raíz, y

como esta última es eliminada parcialmente en el secado, la concentración de proteínas tendería a bajar.

En la Figura 23, se puede observar como la radícula tiende a crecer y a encorvarse conforme se germina la quinua por más tiempo, teniéndose la radícula más larga a las 48 h de germinación. Sin embargo, esta radícula sigue creciendo llegando a su alargamiento máximo recién a las 144 h (6 días), y posteriormente se da el alargamiento del hipocotilo (Céspedes, 2015). Cabe decir que la emergencia de la radícula es un cambio morfológico visible que se



da en la tercera fase de la germinación (Pezúa, 2017).

Figura 23. Quinua Pasankalla a diferentes tiempos de germinación

b.3. RENDIMIENTOS

En la Tabla 13, se presentaron dos diferentes rendimientos, siendo el más importante el rendimiento de malta. Este valor fue de 91 por ciento, mucho mayor a los valores reportados por Salas (2010) para quinuas germinadas por menores tiempos: 12 h (82.17 por ciento) y 20 h (79.35 por ciento). Este autor afirma que cuantos más días ocurre la germinación, el porcentaje de rendimiento de la malta irá disminuyendo debido a la eliminación de las raicillas durante el secado. Otro factor que afecta el rendimiento de malta es la elevada

temperatura durante la germinación, ya que produce un incremento en la tasa de respiración de la semilla y, por ende, un mayor consumo de las reservas de nutrientes (Eblinger, 2009).

Valdez (1995) indica que se puede concluir que el malteado de quinua es exitoso siempre y cuando el rendimiento de malta se encuentre entre 89 a 92 por ciento, es decir, el malteado que se realizó fue exitoso.

4.3. HARINA DE QUINUA GERMINADA

4.3.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

A. ANÁLISIS FÍSICOS

En la Tabla 14, se presentan los resultados de las cuatro pruebas físicas realizadas a la harina de trigo que se utilizó como materia prima en la elaboración de pan y a la quinua Pasankalla germinada 32 h.

Tabla 14: Análisis físicos realizados a la harina de quinua Pasankalla germinada 32 h y harina de trigo

Parámetro	Unidad	Harina de quinua Pasankalla	
		Harina de trigo	germinada 32 h
Diámetro promedio ⁽¹⁾	mm	176.11 ± 0.75 ^a	174.66 ± 2.86 ^a
Contenido de gluten ⁽¹⁾	%	33.23 ± 0.66 ^a	0 ± 0.00 ^b
Rendimiento harina respecto a quinua germinada ⁽¹⁾	%	-	85.59 ± 1.87
Rendimiento harina respecto a mp ⁽¹⁾	%	-	77.07 ± 2.37

(1) Promedio de 3 repeticiones ± DE. Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma fila muestran diferencias significativas según la prueba t ($p < 0.05$).

a.1. DIÁMETRO PROMEDIO

Se obtuvo que no existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el diámetro promedio de la harina de trigo y la harina de quinua Pasankalla germinada 32 h, es decir, ambas harinas presentaron similar distribución de tamaño de partículas, a pesar que no fueron molidas en el mismo equipo, ya que la harina de trigo fue comprada y la otra fue molida a partir de la materia prima.

Cabe acotar que los resultados de granulometría de ambas harinas (Anexo 6) fueron comparados con el factor de calidad: tamaños de las partículas que especifica el Codex Alimentarius y la Norma técnica nacional para harina de trigo fortificada. De acuerdo a ambas normativas, el 98 por ciento o más de la harina deberá pasar a través de un tamiz N°70 (212 micras). En base a esto, se observó que, para el caso de la harina de trigo, el 98.98 por ciento pasó a través del tamiz N° 70; y, para el caso de la quinua Pasankalla germinada 32 h, fue el 93.73 por ciento.

La importancia de conocer el diámetro de partícula radica en que este influye en parámetros de calidad del pan, así como en la absorción de agua durante el amasado y por lo tanto en el incremento de volumen durante la fermentación y cocción (Torres *et al.*, 1999), y al ser, posteriormente, ambas harinas mezcladas para la elaboración de pan se buscó reducir los efectos de una diferente granulometría.

a.2. CONTENIDO DE GLUTEN

Se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el contenido de gluten de la harina de trigo y la harina de quinua Pasankalla germinada 32 h, resaltando que el contenido de esta última fue cero.

Según la clasificación de Calaveras (2004), la harina de trigo utilizada fue harina de gran fuerza, puesto que su contenido de gluten húmedo se encontró entre 27 a 33 por ciento. Otros autores como Vásquez (2009) mencionan que si el porcentaje de gluten húmedo está por encima de 30 se considera una buena harina y se le denomina tipo A, es decir, la harina de trigo empleada fue de tipo A. Esto es comprensible, puesto que fue adquirida como harina

de trigo panadera (con características panificables ideales). A su vez, la proporción de gluten húmedo que tuvo fue normal, ya que se encontró en el rango de 28.5 a 34.5 por ciento.

Por otro lado, la harina de quinua Pasankalla germinada 32 h, al ser una harina sucedánea, es una harina carente de gluten. Por ende, presentará pobres características panificables y elevada capacidad de retención de agua (Gutierrez, 2014).

a.3. RENDIMIENTOS

En la Tabla 14, se presentaron dos diferentes rendimientos, siendo el más importante el rendimiento de harina respecto a materia prima por fines comerciales. Este valor fue de 77.07 por ciento, inferior al obtenido por Olivares y Ricaldi (2013) para harina de maíz malteado (85.7 por ciento). Sin embargo, el mismo autor menciona que rendimientos entre 75 y 85 por ciento se consideran óptimos, es decir, el rendimiento fue óptimo.

El rendimiento de harina respecto a quinua germinada solo se menciona como referencia para próximas investigaciones.

4.4. PANES

Teniéndose la harina de quinua Pasankalla 32 h, se procedió a elaborar panes tipo molde con tres niveles de sustitución de harina de trigo por harina de quinua germinada (Figura 24).

Arroyave y Esguerra (2006) mencionan que los porcentajes de sustitución de quinua deben estar en un máximo de 30 por ciento, debido a que la quinua no posee gluten y esto hace que, a mayor nivel de sustitución, el producto final presente un comportamiento inelástico, no extensible y tenaz. Por el lado contrario, si este porcentaje se maneja por debajo del 15%, no representará un incremento significativo en las distintas variables a evaluar, lo cual es la finalidad de esta investigación. Asimismo, Nieto (1984) menciona que se obtuvieron buenos resultados sustituyendo 8-12 por ciento de harina de quinua de la variedad Sajama en formulaciones de pan y que se deberían ir probando mayores niveles de sustitución para comparar resultados. Carrera (1995) obtuvo excelentes resultados (panes de buena calidad interna y externa) sustituyendo harina de quinua precocida en porcentajes de 20. Además, se

realizaron pruebas preliminares que demostraron que niveles de sustitución en el rango de 10 - 25 por ciento tenían buenos niveles de aceptación por los consumidores. Por estos motivos, se decidió elaborar los panes con los tres niveles de sustitución (15, 20 y 25%) y un testigo.

Se determinó el volumen específico, esfuerzo requerido para la deformación, color y evaluación sensorial, a los panes obtenidos de las cuatro formulaciones (Figura 24). Además, se les realizó análisis como determinación de pH, acidez, azúcares reductores y rendimiento.

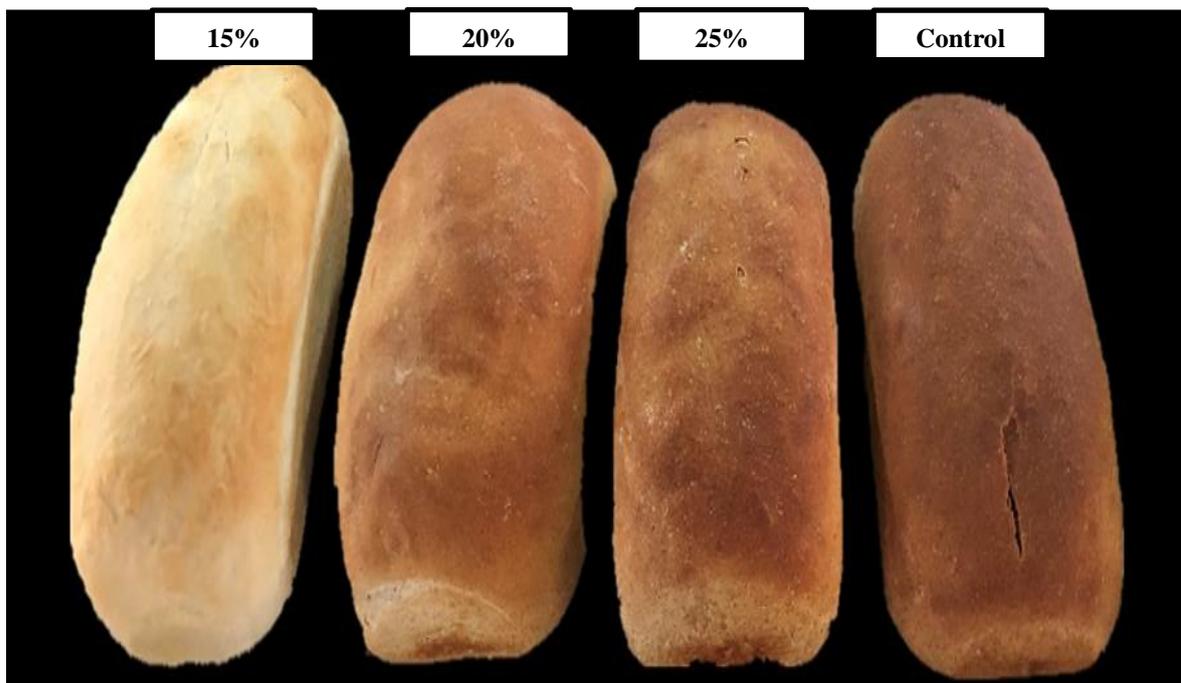


Figura 24. Panes obtenidos con las cuatro formulaciones 15% harina de quinua germinada, 20% harina de quinua germinada, 25% harina de quinua germinada y 0% harina de quinua germinada, respectivamente.

4.4.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

a. ANÁLISIS FÍSICOS

a.1. VOLUMEN ESPECÍFICO

En la Tabla 15, se presentan los valores de volumen específico y dimensiones de las cuatro formulaciones obtenidos por el medidor de volumen PERTEN.

Tabla 15: Volumen específico y dimensiones de las cuatro formulaciones

Parámetro	Unidad	Formulaciones			
		Porcentaje de sustitución			
		15%	20%	25%	Control
Volumen específico	mL/g	2.75± 0.35 ^a	2.37± 0.71 ^b	2.23± 0.11 ^c	2.46± 0.22 ^b
Largo	mm	185.70± 1.53 ^a	185.60± 1.32 ^a	186.10± 1.93 ^a	183.80± 2.11 ^b
Ancho	mm	109.10± 1.09 ^a	101.90± 1.01 ^b	98.90± 1.12 ^c	97.30± 1.08 ^d
Alto	mm	117.50± 0.99 ^a	106.50± 1.75 ^b	84.80± 1.24 ^c	98.20± 1.37 ^d

(1) Cada barra representa el promedio de 3 repeticiones ± DE, letras diferentes sobre las barras muestran diferencias significativas según la prueba de múltiples rangos Tukey ($p < 0.05$).

Asimismo, el medidor PERTEN al ser un topógrafo láser modeló imágenes tridimensionales de los cuatro panes (Figura 25), en las que se puede observar claramente el marcado efecto de la adición de harina de quinua germinada en las formulaciones.

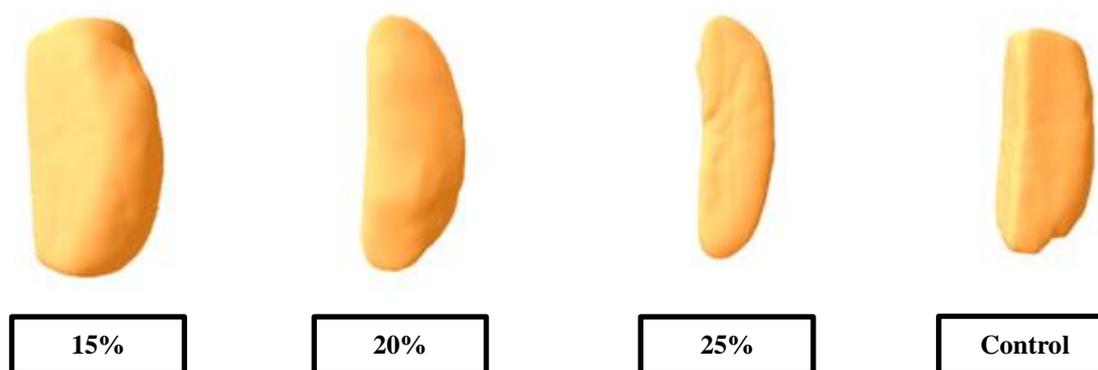


Figura 25. Imagen 3D de los cuatro panes con porcentajes de sustitución (15, 20 y 25%) y control, obtenida por topografía láser

Respecto a la altura de los panes, se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p > 0.05$) entre todos las formulaciones entre sí, es decir, ninguna formulación tiene estadísticamente una altura similar. Además, se observa que la altura va disminuyendo conforme aumenta el nivel de sustitución. Por otro lado, se observa que el pan testigo no es el que tiene la mejor altura, esto debido a la misma causa del volumen específico que se explica líneas abajo.

Respecto al volumen específico de los panes, se obtuvo que únicamente no existía diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los pares 20%-Control, pero que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los pares 15%-20%, 15%-25%, 15%-Control, 20%-25% y 25%-Control. Este se encontró entre 2.23 y 2.75 mL/g para los panes con 25 y 15% de sustitución, respectivamente. Se observa que, al igual que con la altura, el volumen específico va disminuyendo conforme aumenta el nivel de sustitución, esta disminución parece estar relacionada al pequeño tamaño de los gránulos y a la baja proporción de amilasa del almidón de quinua (Pacheco, 2016), así como a la mayor presencia de fibra dietaria conforme se aumentaba el porcentaje de harina de quinua germinada. Esta tendencia de disminución del volumen específico conforme existe mayor contenido de fibra dietaria también se evidenció cuando Wang *et al.* (2002) adicionaron fibra de algarrobo (3.4 mL/g), inulina (2.9 mL/g) y fibra de guisante (2.8 mL/g) en formulaciones de pan en comparación con un control (3.5 mL/g).

Por otro lado, era de esperarse que F4 (formulación 100% harina de trigo) tenga el mejor volumen específico. Sin embargo, esta obtuvo el segundo mejor volumen, esto podría

explicarse, ya que, hasta cierto nivel al agregar harina de quinua germinada, se le está agregando mayor cantidad de azúcares simples (azúcares más cortos de bajo peso molecular) a la formulación, los mismos que sirven como sustrato para la levadura para realizar la fermentación, en comparación con la adición de harina de trigo (que no se agregan directamente azúcares simples sino carbohidratos más complejos que todavía deben ser hidrolizados por enzimas amilolíticas) (Cueva, 2017). Cabe resaltar que aparentemente el límite máximo de harina de quinua germinada para que no afecte significativamente el volumen sería de 20 por ciento, ya que, si se supera este límite, al haber una menor cantidad de harina de trigo, se desarrollará una menor cantidad de gluten, lo que conllevaría a que la masa este menos apta para retener el dióxido de carbono producido durante la fermentación (Gutiérrez, 2014).

Mishra *et al.* (2012) reportan volúmenes entre 1.39 - 1.65 mL/g para panes formulados con harina de mijo en porcentajes de sustitución del 15-25 por ciento y Cobo *et al.* (2013) reportan disminuciones de 25 por ciento de volumen en panes de molde con porcentajes de sustitución de 25 por ciento de harina de trigo por harina de zanahoria blanca. Estos valores muestran que el volumen específico se ve más afectado por otras harinas sucedáneas que por la harina de quinua germinada.

Madamwar *et al.* (2006) reportan un volumen de 3.0 mL/g para panes de molde 100 por ciento harina de trigo, esta ligera diferencia de 18 por ciento respecto al volumen que se obtuvo para el control, se explicaría ya que los panes de los autores tuvieron un mayor tiempo de fermentación (75 minutos) frente a los 60 minutos, es decir, mayor tiempo de producción de dióxido de carbono, y una cocción de 225 °C frente a 165 °C.

a.2. ESFUERZO REQUERIDO PARA LA DEFORMACIÓN

En la Tabla 16, se presentan los valores de esfuerzo requerido para la deformación de las cuatro formulaciones obtenidos por el Instron.

Respecto al esfuerzo requerido para la deformación, se obtuvo que no existía diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los pares 15%-Control y 20%-25%, pero que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los pares 15%-20%, 15%-25%, 20%-Control y 25%-

Control. Se observa que el esfuerzo requerido para la deformación tiene una relación directamente proporcional con el nivel de sustitución, esto también sería explicado debido a la mayor presencia de fibra conforme se adiciona más harina de quinua germinada a las formulaciones.

Tabla 16: Esfuerzo requerido para la deformación (expresado en gf) de las cuatro formulaciones

Parámetro	Unidad	Formulaciones			
		Porcentaje de sustitución			
		15%	20%	25%	Control
Dureza ¹	gf	367.97 ± 17.31 ^a	429.66 ± 15.13 ^b	474.37 ± 13.86 ^b	349.57 ± 34.71 ^a

(1) Promedio de 3 repeticiones ± DE. Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma fila muestran diferencias significativas según la prueba de múltiples rangos Tukey ($p < 0.05$).

Paredes (2018) reporta durezas entre 282 - 525 g/f para panes formulados con harina de quinua y tocosh en porcentajes de sustitución del 0 -13 por ciento (en porcentajes iguales), es decir, se sigue manteniendo la relación directamente proporcional entre la dureza y el nivel sustitución. Asimismo, De la Cruz (2009), quien elaboró panes con mezclas de harina de quinua precocida y suero de leche en polvo, mantuvo la misma tendencia y obtuvo durezas entre 91 - 154 g/f para panes con porcentajes de sustitución entre el 16.2 - 19 por ciento. Estos valores de dureza son mucho menores a los obtenidos debido a que el autor utilizó manteca y mejorador de masa (los panes elaborados solo tenían los cuatro ingredientes básicos) e incluso un mayor porcentaje de agua, ingredientes que influyen directamente en la suavidad de los panes.

a.3. COLOR

El color de la harina y de los panes elaborados dependió principalmente de la proporción de betacianinas (pigmentos de color rojo) y betaxantinas (pigmentos de color amarillo) (ambas dan el contenido total de betalaínas) presentes en la quinua Pasankalla.

En la Tabla 17, se presentan los valores de L*, a* y b* de la corteza y la miga de las cuatro formulaciones.

Tabla 17: Coordenadas de color CIEL*a*b* en la corteza y miga de las cuatro formulaciones

Parámetro	Formulaciones			
	Porcentaje de sustitución			
	15%	20%	25%	Control
Color de la corteza ¹				
L*	50.50 ± 0.47 ^a	44.20 ± 0.17 ^b	43.44 ± 0.25 ^b	66.61 ± 0.51 ^a
a*	14.30 ± 0.07 ^a	14.95 ± 0.38 ^b	13.84 ± 0.60 ^b	7.77 ± 1.20 ^b
b*	21.45 ± 0.67 ^a	15.87 ± 0.31 ^b	12.96 ± 0.59 ^c	31.77 ± 1.86 ^d
ΔE	20.22	28.40	30.46	-
Color de la miga ¹				
L*	58.40 ± 0.24 ^a	55.92 ± 0.66 ^b	54.59 ± 0.58 ^b	72.47 ± 0.73 ^a
a*	4.38 ± 0.62 ^a	4.92 ± 0.20 ^a	5.06 ± 0.18 ^a	-0.32 ± 0.03 ^b
b*	17.22 ± 0.15 ^{ab}	17.96 ± 0.21 ^b	17.70 ± 0.39 ^b	16.25 ± 0.72 ^a
ΔE	14.87	17.44	18.73	-

(1) Promedio de 3 repeticiones ± DE. Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma fila muestran diferencias significativas según la prueba de múltiples rangos Tukey ($p < 0.05$).

En primer lugar, respecto al color de la corteza, se obtuvo que no existía diferencia significativa ($p > 0.05$) entre la luminosidad (L*) de los pares 15%-Control y 20%-25%, pero que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los pares 15%-20%, 15%-25%, 20%-Control y 25%-Control. También se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las coordenadas rojo/verde (a*) de todos los pares comparados con F1. Además, se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las coordenadas amarillo/azul (b*) de todas las formulaciones entre sí. Por último, se obtuvo que las variaciones de color externo (corteza) (ΔE) no son uniformes en comparación con el pan control, estas van aumentando conforme se incrementa el porcentaje de sustitución lo que indicaría que al adicionar harina de quinua germinada en las formulaciones se acrecienta lo oscuro de la corteza (Figura 24), esto debido a la mayor cantidad de azúcares reductores disponibles en

una harina germinada que en una sin germinar, los mismos que producen tanto la reacción de Maillard como la de caramelización.

Para que se pueda dar la reacción de Maillard se requiere de la condensación de los grupos aminos libres (generalmente de los aminoácidos) con los grupos carbonilo de los azúcares reductores. Debido a que el agua es un producto de la reacción, esta se ve favorecida por las condiciones de deshidratación durante el horneado. Luego de esta condensación, se llevan a cabo una serie de arreglos que conducen a la formación de pigmentos oscuros. Sin embargo, también se pueden formar pigmentos oscuros en ausencia de aminoácidos, a través de las reacciones de caramelización, un conjunto complejo de reacciones que dependen de la temperatura y ocurren en un rango de pH limitado (Badui, 2006).

Cabe resaltar que el color oscuro de la corteza y la baja humedad de esta son características propias de los panes de molde y el primero es un atributo muy importante a la hora de la elección de un pan.

Los panes 20% y 25% resultaron más oscuros que 15% y Control como lo muestra la reducción de los valores de luminosidad. La coordenada a^* indica que hubo una mayor tendencia al rojo ($+a^*$), esto debido a la presencia de betacianinas en la quinua Pasankalla, y a las alfaamilas y azúcares (Tejero, 2003). Acerca de la coordenada b^* , esta indica que hubo una mayor tendencia al amarillo ($+b^*$), esto debido a las betaxantinas presentes en la materia prima.

En segundo lugar, respecto al color de la miga, se obtuvo que no existía diferencia significativa ($p > 0.05$) entre la luminosidad (L^*) de los pares 15%-Control y 20%-25%, pero que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los pares 15%-20%, 15%-25%, 20%-Control y 25%-Control. También se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las coordenadas rojo/verde (a^*) de todos los pares comparados con F4. Además, se obtuvo que no existía diferencia significativa ($p > 0.05$) entre las coordenadas amarillo/azul (b^*) de los pares 15%-Control, 15%-20%, 15%-25% y 20%-25%, pero que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los pares 20%-Control y 25%-Control. Por último, se obtuvo que las variaciones de color interno (miga) (ΔE) no son uniformes en comparación con el pan Control, lo que indicaría que al adicionar harina de quinua

germinada en las formulaciones se oscurece el color de la miga, pasando de un color amarillento para el control a distintas tonalidades de marrón para 15, 20 y 25% de sustitución (Figura 26).

Nieto-Mazzocco *et al.* (2018) mencionan que el color de la miga en productos panificables con harinas sucedáneas puede parecer más oscuro debido a los reflejos de luz en los vacíos de la miga de pan, por lo general, estos suelen tener más vacíos que los panes 100 por ciento harina de trigo (Figura 26).

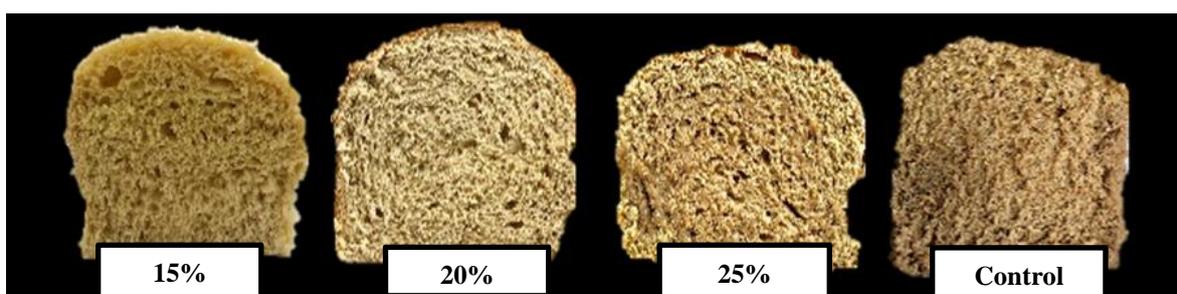


Figura 26. Migas de panes obtenidos con las cuatro formulaciones (15, 20 y 25% de sustitución, y control)

Tejero (2003) menciona que el tipo de amasado también determina el color de la miga. A mayor trabajo en la masa, esta se oxigena más ocasionando una degradación de los pigmentos de la harina, reflejándose con el blanqueado de la miga. Sin embargo, las cuatro formulaciones pasaron por el mismo amasado por lo que se desestima que la diferencia de colores en las migas dependa de este.

Las variaciones de color interno son mucho menores que las de color externo, esto debido a que al estar la miga más alejada de la fuente de calor que la corteza, los cambios que se dan en la primera no son tan pronunciados como los de la segunda (Gutiérrez, 2014).

a.4. PH, ACIDEZ Y RENDIMIENTOS

En la Tabla 18, se muestran los resultados de la determinación de pH, acidez y rendimiento para las cuatro formulaciones de panes.

Tabla 18: Determinación de pH, acidez y rendimiento de las cuatro formulaciones de pan

Análisis	Unidad	Formulaciones			
		Porcentaje de sustitución			
		15%	20%	25%	Control
pH (a T=21°C) ⁽¹⁾	-	5.88 ± 0.01 ^a	6.02 ± 0.01 ^b	6.27 ± 0.01 ^c	6.10 ± 0.01 ^d
Acidez ⁽¹⁾	% ⁽²⁾	0.21 ± 0.01 ^a	0.23 ± 0.01 ^{ab}	0.23 ± 0.01 ^b	0.14 ± 0.01 ^c
Rendimiento masa/pan ⁽¹⁾	%	95.57 ± 1.37 ^a	96.05 ± 1.18 ^a	96.24 ± 1.24 ^a	96.07 ± 1.24 ^a

(1) Promedio de 3 repeticiones ± DE. Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma fila muestran diferencias significativas según la prueba de múltiples rangos Tukey ($p < 0.05$).

(2) Expresado en porcentaje de ácido sulfúrico.

En primer lugar, respecto al pH, si existían diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las cuatro formulaciones, siendo el mayor el de 25% (6.27), seguido por el Control (6.10) y 20% (6.02), y el menor 15% (5.88).

Al comparar estos valores frente al de la harina de quinua Pasankalla (reportado por Arzapalo *et al.*, 2015), se obtiene que el pH de la harina de quinua es ligeramente superior ($\text{pH} = 6.20$) al de 15%, 20% y el Control, a excepción de 25%.

Tejero (2003) establece que el pH de un pan de molde debe encontrarse entre 4.5 - 6.5. Asimismo, Yela (2004) obtuvo valores de pH entre 6.38 y 6.43 para panes comerciales. Como se observa en la Tabla 18, todos los panes se encuentran dentro del rango de pH propuesto, la importancia de mantener estos valores dentro del rango radica en evitar el crecimiento de mohos y bacterias.

En segundo lugar, respecto a la acidez, se obtuvo que solo no existían diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los pares 15% - 20% y 20% -25%; entre el resto de pares, si existían diferencias significativas ($p < 0.05$).

Al comparar estos valores frente al de la harina de quinua Pasankalla (reportado por Arzapalo *et al.*, 2015), se obtiene que la acidez de la harina de quinua es bastante menor (0.12 por ciento expresado en ácido sulfúrico) a la de las formulaciones 15%, 20% y 25% (todas estas formulaciones con sustitución de harina de quinua germinada), a excepción del Control (formulación 100 % harina de trigo). Esto se debería a que los panes que fueron elaborados con harina de quinua germinada y por lo general, las harinas de germinados presentan una acidez elevada, ya que existen ácidos grasos libres por la hidrólisis ocurrida durante la germinación (Bravo *et al.*, 2013). Cabe resaltar que si no se tiene el debido cuidado, estas grasas podrían sufrir procesos de enranciamiento a consecuencia de la acción de la luz o el aire, incrementándose la acidez de los panes. Otro factor causante de la mayor acidez en los panes con germinados es que las harinas que se utilizaron fueron almacenadas por un período de tiempo (por más que este fue corto).

Según la NTP 2006.004 (INDECOPI, 2008), el límite máximo permisible de acidez en panes de molde es de 0.5 por ciento (expresado en ácido sulfúrico). Como se observa en la Tabla 18, la acidez de todos los panes se encuentra por debajo del límite permisible.

En tercer y último lugar, respecto al rendimiento masa/pan, se obtuvo que no existía diferencia significativa ($p > 0.05$) entre las cuatro formulaciones, es decir, la adición de harina de quinua germinada en las formulaciones no tuvo un efecto significativo en el rendimiento masa/pan.

Por otro lado, todas las formulaciones tuvieron un rendimiento menor al 100 por ciento, esto debido a que durante el horneado el agua se evapora yéndose una parte a la superficie de la corteza y otra parte a al medio ambiente, disminuyendo así la humedad del pan y por ende, el peso del mismo. Cabe resaltar que el contenido de humedad de la corteza se encuentra en rangos de 10 - 12 por ciento, mientras que el de la miga en rangos de 35 - 40 por ciento, dependiendo del tipo de pan (Gutiérrez, 2014). En resumen, las pérdidas de peso cuando la masa se transforma en pan se deberían principalmente a la pérdida de humedad. Cabe resaltar

que esta no debería exceder el 9 por ciento (Arone, 2015), ya que significaría que la masa se cocinó demasiado. En las cuatro formulaciones, la pérdida fue incluso inferior al 6 por ciento, esto también se debería a que la masa es una masa resistente (De la Cruz, 2009).

4.4.2 ANÁLISIS QUÍMICO

a. CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES (AR)

En la Tabla 19, se muestran los resultados de la determinación contenido de azúcares reductores (AR) para las cuatro formulaciones de panes.

Tabla 19: Determinación del contenido de AR de las cuatro formulaciones de pan

Análisis	Unidad	Formulaciones			
		Porcentaje de sustitución			
		15%	20%	25%	Control
Azúcares reductores ⁽¹⁾	g glucosa/100g quinua	5.62 ±	6.31 ±	6.66 ±	3.88 ±
		0.05 ^a	0.09 ^b	0.10 ^c	0.09 ^d

(1) Promedio de 3 repeticiones ± DE. Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma fila muestran diferencias significativas según la prueba de múltiples rangos Tukey ($p < 0.05$).

Respecto al contenido de azúcares reductores, se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las cuatro formulaciones, teniéndose el mayor contenido de AR en el pan con 25% de sustitución, seguido por 20%, 15% y finalmente el Control, es decir, cuando mayor fue la sustitución de harina de quinua germinada, mayor fue el contenido final de AR en los panes.

El contenido de AR del Control fue bastante menor que el de las otras tres formulaciones (42 por ciento menor en el peor de los casos), esto debido a que el Control solo contenía harina de trigo y no harina de quinua germinada como las otras formulaciones, siendo la principal diferencia entre estas harinas que los carbohidratos de la harina de trigo se encuentran, en su mayoría, como moléculas de gran tamaño y no como AR.

El mayor contenido de AR en los panes que incluían harina de quinua germinada fue evidenciado en la coloración de la corteza del pan (reacción de Maillard y caramelización) (Figura 24). Cabe resaltar que los AR son importantes en la panificación, ya que ayudan a una rápida formación de la corteza del pan debido a su caramelización, reduciendo así la pérdida de agua dentro del pan, tienen efecto sobre la propiedad de absorción, sobre el tiempo de desarrollo de la masa y sobre las características organolépticas del pan como el color de corteza y aroma. A su vez, también aseguran una mayor conservación de pan, ya que permiten una mejor retención de la humedad, retrasando el proceso de endurecimiento (Alasino, 2009).

4.4.3 ANÁLISIS SENSORIAL

La evaluación sensorial de los panes se realizó en dos etapas. La primera consistió en una prueba de aceptabilidad en la que los panelistas marcaban en una recta según su opinión, la misma que tenía tres marcas: me desagrada mucho, ni me agrada ni desagrada y me agrada mucho (Escala del 0 al 10), escogiéndose a los dos panes que tuvieron el mejor puntaje. La segunda consistió en una prueba de preferencia pareada de los dos panes con la mejor aceptabilidad. En esta prueba, los panelistas evaluaron los atributos color, olor, sabor y textura, escogiéndose como la mejor formulación a la que fue preferida teniendo en cuenta los cuatro atributos.

a. PRUEBA DE ACEPTABILIDAD

La prueba de aceptabilidad se empleó para evaluar el grado de satisfacción o aceptabilidad de los panes, con el objetivo de determinar cuáles eran los dos panes más aceptados o preferidos de entre los cuatro.

En la Tabla 20, se muestran los puntajes promedios otorgados para cada una de las cuatro formulaciones de pan.

Tabla 20: Puntaje promedio otorgado por los panelistas para cada una de las cuatro formulaciones de pan

Evaluación sensorial	Formulaciones			
	Porcentaje de sustitución			
	15% (258) ¹	20% (741) ¹	25% (629) ¹	Control(112) ¹
Aceptabilidad media	6.08 ^{ab}	6.25 ^{ab}	5.17 ^a	6.61 ^b

(1) Los números en paréntesis son los códigos que se le otorgó a cada formulación para que no puedan ser identificados por los panelistas.

Cabe resaltar que fueron un total de 100 panelistas y que cada uno evaluó dos muestras de pan, dicho de otra manera, cada muestra fue evaluada por 50 panelistas. Estas muestras fueron presentadas en pirotines de color blanco como se puede apreciar en la Figura 27.

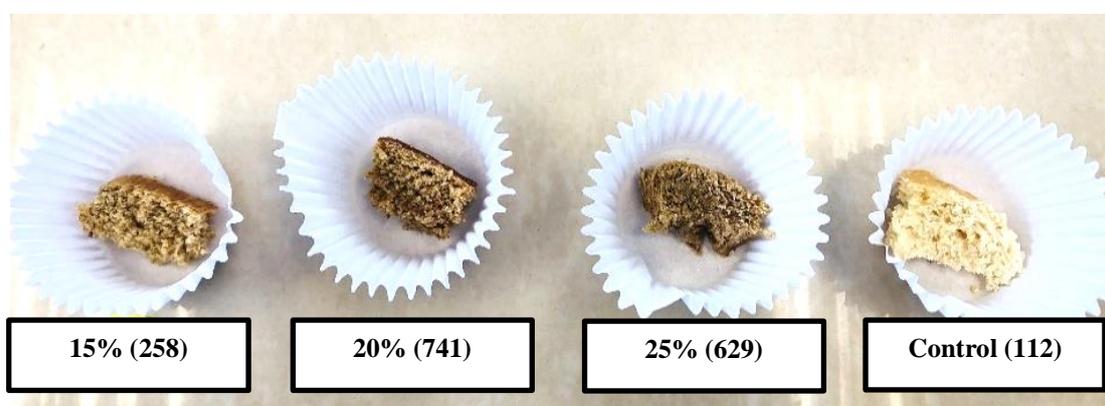


Figura 27. Muestras de las cuatro formulaciones de pan que fueron entregadas a los panelistas

Se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la aceptabilidad media de las cuatro formulaciones, usando la prueba estadística de Durbin (Anexo 7) que es la más adecuada cuando se trabaja con diseño de bloques incompletos (Meilgaard *et al.*, 1991). Luego se procedió a realizar las comparaciones múltiples entre tratamientos mediante el Método de Scheffé (Anexo 8) obteniéndose que solo existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la aceptabilidad de 25% -Control y que no existía diferencia significativa ($p > 0.05$) entre la aceptabilidad de 15%-20%-Control y 15%-20%-25%, respectivamente. Cabe mencionar que los cuatro panes tuvieron una aceptación general mayor a 5 pero menor a 7.5, encontrándose en el rango de “no me agrada ni desagrada” y “me agrada mucho”.

Como se puede apreciar en la Tabla 20, la mejor aceptabilidad la obtuvo el Control, seguida del pan con 20 por ciento de sustitución, y del pan con 15 por ciento de sustitución, y finalmente el pan con 25 por ciento de sustitución. Sin embargo, estadísticamente no existe diferencia significativa entre la aceptabilidad del Control, 20% y 15%. A pesar que entre 20% y 15% no existía diferencia significativa se prefirió a 20%, visto que tenía un mayor nivel de sustitución de harina de quinua germinada (5 por ciento más que el de 15%). Finalmente, se eligió como las dos mejores formulaciones al Control y 20%.

b. PRUEBA DE PREFERENCIA PAREADA

Habiéndose elegido al Control y 20% como las dos formulaciones con mejor aceptabilidad general, se realizó una prueba de preferencia pareada entre ambos panes.

En la Tabla 21, se muestra la cantidad de panelistas que prefirieron cada una de las dos formulaciones en los cuatro atributos evaluados (color, olor, sabor y textura). Cabe señalar que fueron un total de 100 panelistas quienes evaluaron ambos panes. Estos últimos fueron presentados en platos de color blanco (uno a cada lado) como se puede apreciar en el Anexo 9.

Tabla 21: Cantidad de panelistas que prefirieron cada una de las dos formulaciones con mejor aceptabilidad en los cuatros atributos evaluados (color, olor, sabor y textura)

Atributo / Formulación	Color	Olor	Sabor	Textura
20% (7442) ¹	61	54	54	59
Control (5651) ¹	39	46	46	41

(1) Los números en paréntesis son los códigos que se le otorgó a cada formulación para que no puedan ser identificados por los panelistas.

Respecto al atributo color, por la prueba del signo, se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la preferencia por el color de los panes evaluados, siendo el pan

con 20% de harina de quinua germinada el preferido. Esta preferencia fue justificada por los panelistas con comentarios como “Prefiero los panes más oscuros”, “Me gustan los panes marrones”, entre otros. Cabe resaltar que la coloración marrón de los panes se debió a la inclusión de harina de quinua germinada en su formulación, lo que generó que haya más azúcares reductores para que se pueda dar la reacción de Maillard y caramelización durante el horneado (Cauvain, 2012). Además, esta mayor intensidad en la coloración de 20% respecto al Control también fue percibida (de manera más objetiva) cuando se realizó la medición de color con el colorímetro (Tabla 17).

Respecto al atributo olor, por la prueba del signo, se obtuvo que no existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la preferencia por el olor de los panes evaluados, en otras palabras, no se prefirió ni 20% ni el Control. Cabe resaltar que se encontraron muchos comentarios (por parte de los panelistas) a favor del pan con 20% de sustitución como “Me gusta que el pan 7442 (20%) huela ligeramente dulzón”, “Me gusta el olor a quinua que se percibe”, entre otros, estos comentarios positivos se deberían a que la tendencia de consumo de pan está cambiando y actualmente las personas se sienten atraídas por los panes artesanales y/o con harinas sucedáneas en su formulación. Asimismo, este olor percibido como “agradable” por los panelistas se explicaría, ya que, al calentarse las proteínas se desarrollan aromas típicos en los que los aminoácidos participan como precursores. Romo *et al.* (2006) mencionan que los aromas característicos aparecen también con la reacción de Maillard y que son compuestos derivados especialmente de aminoácidos como la cisteína, metionina, ornitina y prolina.

Respecto al atributo sabor, por la prueba del signo, se obtuvo que no existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la preferencia por el sabor de los panes evaluados, en otras palabras, no se prefirió ni 20% ni el Control. Cabe resaltar que por más que los panelistas percibieron la presencia de quinua en la formulación, ya que se encontraron comentarios como “El pan 7442 (20%) se encuentra en su punto de dulzor”, “Me gusta el pan 7442 (20%) porque se percibe ligeramente la quinua”, entre otros, la misma fue aceptada incluso en un elevado nivel de sustitución (20%).

Por último, respecto al atributo textura, por la prueba del signo, se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la preferencia por la textura de los panes evaluados,

siendo el de 20% de sustitución el preferido F2. Esta preferencia fue justificada por los panelistas con comentarios como “7442 (20%) tiene buena textura”, “El pan 7442 (20%) está más compacto y no se siente un pan inflado”, entre otros. Además, esta diferencia de textura de 20% frente al Control también fue percibida (de manera más objetiva) cuando se realizó la medición de volumen y esfuerzo requerido para la deformación (Tablas 15 y 16, respectivamente).

Finalmente, se eligió al pan con 20% de sustitución como preferido frente al Control, ya que, si bien no fue preferido en los cuatro atributos evaluados, este fue preferido en dos (color y textura) de cuatro atributos y en los otros dos (olor y sabor) no se evidenció diferencia significativa en cuanto a la preferencia y se tuvieron buenos comentarios de este. Otra razón de la elección de este pan es que fue preferido en textura, una de las cualidades dominantes del pan (junto con el sabor), según los consumidores (De la Cruz, 2009).

4.5. ELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL MEJOR PAN

Según Hernández y Durán (2012) para la estimación de la calidad de un pan se deben tener en cuenta tres amplias categorías: calidad interna, calidad externa y calidad asociada a la textura y palatabilidad. Por este motivo, se realizaron los siguientes análisis de decisión: volumen específico, esfuerzo requerido para la deformación, color y evaluación sensorial a las cuatro formulaciones, ya que estos permiten evaluar las tres categorías ya mencionadas.

El resumen de los resultados de los cuatro análisis mencionados se presenta en la Figura 28, en la que se colocó puntajes entre 1 - 4, siendo 4 la puntuación para el mejor tratamiento y 1 la puntuación para el peor tratamiento para cada análisis, respectivamente.

Siguiendo el orden presentado, en primer lugar, respecto al volumen específico, el tratamiento que obtuvo el mejor puntaje fue 15%, seguido del Control, 20% y 25%, respectivamente. Para el caso del esfuerzo requerido para la deformación, los tratamientos que obtuvieron el mejor puntaje fueron 15% y el Control, seguidos de 20% y 25%, respectivamente. Para el caso del color, los tratamientos que obtuvieron el mejor puntaje fueron 20% y 25%, seguidos de 15% y el Control, respectivamente. Por último, respecto a

la evaluación sensorial. el tratamiento que obtuvo el mejor puntaje fue 20%, seguido del Control, 15% y 25%, respectivamente.

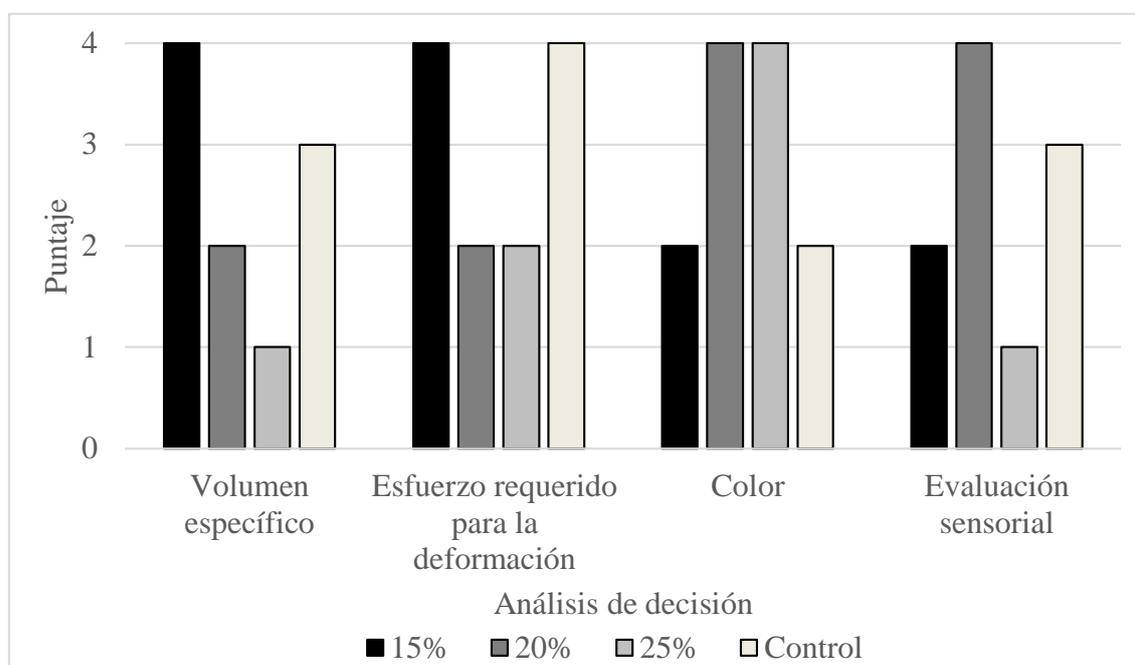


Figura 28. Puntaje obtenido por cada formulación para cada atributo

Para poder elegir el mejor pan se tuvo en cuenta el tratamiento que tuvo la mayor puntuación en la mayor cantidad de análisis (García, 2011). Así pues, de entre los cuatro tratamientos, el Control y 20% fueron los ganadores de dos análisis cada uno. El primero obtuvo el mejor volumen específico y esfuerzo requerido para la deformación; y el segundo, el mejor color y evaluación sensorial.

De la Cruz (2009) menciona que si un producto no tiene ni buen color ni buen sabor fallará en el mercado, ya que no resolverá las principales expectativas de los consumidores; específicamente los consumidores peruanos de pan buscan productos que no tengan impacto negativo en su salud y que les brinden sabores únicos y agradables (Arteta *et al.*, 2017). Gutiérrez (2014) menciona que el sabor, olor y color (atributos sensoriales) son los principales criterios a tener en cuenta en la elección de un pan por parte de los consumidores peruanos. Por estos motivos, se decidió elegir al tratamiento que tuvo 20 por ciento de harina de quinua germinada como la mejor formulación, ya que, a pesar de no ser el pan con el mejor volumen ni el menor esfuerzo requerido para la deformación, dentro de todo resultó

ser un pan con buena aceptación sensorial, buen color y buenas características para la panificación (pan tipo de molde).

Una vez que se determinó que el tratamiento con 20 por ciento de harina de quinua germinada fue el mejor pan, se le realizaron diversos análisis fisicoquímicos (análisis proximal, calcio, determinación de compuestos fenólicos y análisis de perfil de textura) a manera de caracterización.

4.5.1. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

a. ANÁLISIS FÍSICOS

a.1. ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA

En la Tabla 22, se presentan los resultados obtenidos del perfil de textura instrumental o análisis de perfil de textura realizados a la mejor formulación (20% de sustitución de harina de quinua germinada).

En primer lugar, respecto a la dureza definida como la fuerza máxima que tiene lugar en cualquier tiempo durante el primer ciclo de compresión (Figura 29) (Rosenthal, 1999), a parte de su importancia a nivel sensorial, es importante, ya que, se encuentra relacionada con el envejecimiento en el almacenamiento (Pacheco y Torres, 2007). Gujral y Molina (2004) obtuvieron resultados de alrededor 14 N para panes elaborados con 100 por ciento harina de arroz, confirmando mayores durezas en panes con harinas sucedáneas, específicamente en el caso de la harina de quinua, la mayor dureza se debe a la mayor absorción de agua, disminución de la estabilidad, actividad de la amilasa y gelificación del almidón (Díaz y Hernández, 2012). *Alvis et al.* (2011) sustituyeron harina de trigo por harina de arroz integral en diferentes niveles obteniendo valores entre 4 y 11 N. Por otra parte, Vásquez (2016) elaboró panes con 10 por ciento de sustitución de harina de quinua obteniendo valores de alrededor 6 N, este último valor cercano al presentado en la Tabla 22 (367.28 gf \approx 3.60 N).

Se puede afirmar que el pan obtenido no es un pan duro, ya que, según Machado (1996) se considera a un pan como duro cuando tiene una dureza por encima de los 14 N.

Tabla 22: Determinación del análisis del perfil de textura del producto final

Componente	Unidad	20%
Dureza ¹	gf	367.28 ± 13.43
Adhesividad ¹	J	0.00027 ± 0.00017
Cohesividad ¹	-	0.27 ± 0.02
Elasticidad ¹	%	38.0 ± 0.02
Gomosidad ¹	gf	93.85 ± 6.36
Masticabilidad ¹	kgf.mm	3.55 ± 0.87

(1) Promedio de 3 repeticiones ± DE.

En segundo lugar, respecto a la adhesividad definida como el trabajo necesario para despegar el plato de compresión de la muestra o trabajo necesario para despegar el alimento de una superficie (paladar) (Figura 29) (Rosenthal, 1999), Franco y Hernández (2016) reportaron valores entre 0.4 y 1.2 mJ para panes con sustitución de harina de trigo por almidón de yuca. Por otra parte, Encarnación y Salinas (2017) obtuvieron un valor promedio de 0.30 mJ para panes con sustitución de harina de trigo por harina de plátano verde, este valor es cercano al presentado en la Tabla 22 ($0.00027 \text{ J} \approx 0.27 \text{ mJ}$) y es un valor aceptable, ya que mientras menor sea este valor, el pan tenderá a pegarse menos en el paladar, característica que no es deseada por los consumidores.

En tercer lugar, respecto a la cohesividad definida como la relación de área originadas de dos ciclos de compresión (excluyendo la zona de descompresión de cada ciclo) (Figura 29) (Rosenthal, 1999), Gutiérrez (2014) obtuvo valores de 0.47 para panes 100 por ciento harina de trigo y valores entre 0.50 y 0.53 para panes con sustitución de bagazos de manzana y mandarina, respectivamente. Por otra parte, Hernández y Durán (2012) obtuvieron una cohesividad de 0.31 para panes de agua. Este último valor es el más cercano al presentado en la Tabla 22 y la importancia que estos valores sean pequeños radica en que significan cuanto puede deformarse un pan sin romperse y, por lo general, se busca que los panes presenten poca resistencia.

En cuarto lugar, respecto a la elasticidad definida como la altura que recupera el alimento durante el tiempo que recorre entre el primer y segundo ciclo (Figura 29) (Rosenthal, 1999), Vázquez *et al.* (2016) mencionan que la sustitución de la harina de trigo por harinas sucedáneas genera la disminución de la elasticidad de la masa, ya que el gluten es el responsable de esta característica, específicamente las gluteninas del gluten. Asimismo, Pacheco y Torres (2007) afirma que las masas elaboradas sólo con harina de trigo tienen propiedades elásticas, mientras que aquellas elaboradas con harinas de otros cereales tienen propiedades plásticas, es decir, el pan con 20% harina de quinua germinada posee características plásticas; y se le atribuye a la elasticidad la capacidad de los panes de inflarse y retener las burbujas de gas que confieren a la miga su textura característica. Flecha (2015) menciona que las levaduras también tienen un papel fundamental en la elasticidad, ya que el oxígeno posibilita procesos de oxidación que forman enlaces entre puentes de sulfuro que dotan al gluten de una tenacidad, elasticidad y extensibilidad claves para la elaboración de pan.

Vázquez *et al.* (2006) obtuvieron una elasticidad de 25 por ciento para panes con 10 por ciento de harina de quinua, valor inferior al presentado en la Tabla 22. Sin embargo, siempre se desea que esta característica sea idealmente lo más cercana posible a 100 por ciento, ya que indica que por más que el pan se deforme, puede volver a su forma original, lo que es deseado, debido a que los panes pasan por diversos esfuerzos desde el lugar donde se producen hasta que llegan a las manos del consumidor (Gutiérrez, 2014).

En quinto lugar, respecto a la gomosidad definida como la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que esté listo para ser tragado (Figura 29) (Rosenthal, 1999), Hernández y Durán (2012) reportaron valores en promedio de 172 gf para panes de agua. Por otra parte, Gutiérrez (2014) obtuvo valores de 102.86 gf para panes 100 por ciento harina de trigo y, 88.57 y 82.76 gf para panes con sustitución de harina de trigo por bagazo de manzana y mandarina respectivamente. Estos últimos valores son cercanos al presentado en la Tabla 22 y demuestran que el pan con 20% harina de quinua germinada es un pan que requiere poca fuerza para ser desintegrado.

Por último, respecto a la masticabilidad definida como el trabajo necesario para desintegrar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido (Figura 29) (Rosenthal, 1999), es importante, ya que, permite estimar la calidad de los panes (Hernández y Durán, 2012). Los

autores anteriores obtuvieron valores entre 5 y 9 kgf.mm para panes de agua, Vásquez *et al.* (2016) obtuvieron valores de 4 kgf.mm para panes con 10 por ciento de sustitución de harina de trigo por harina de quinua, valor cercano al de la Tabla 22. Así pues, los panes con harinas sucedáneas presentan menor masticabilidad y esto también fue comprobado por Mazzocco *et al.* (2018) quienes trabajaron con panes libres de gluten.

Cabe resaltar que la gomosidad y masticabilidad guardan una relación directamente proporcional entre sí e inversamente proporcional a la cohesividad (Roudot, 2004).

b. ANÁLISIS QUÍMICOS

b.1. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL Y CONTENIDO DE CALCIO

En la Tabla 23, se presentan los resultados obtenidos del análisis proximal de la mejor formulación (20%) y el Control, en base seca. Cabe resaltar que se decidió realizar el análisis proximal al pan Control para poder comparar el efecto de la adición de harina de quinua germinada en la formulación.

Se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el contenido de humedad, proteína, grasa, fibra cruda, cenizas y carbohidratos del pan con 20% harina de quinua germinada y el Control.

Respecto al contenido de proteínas, los resultados de la Tabla 23 muestran que el pan con 20% de harina de quinua germinada posee el mayor contenido proteico (34.55 por ciento más que el control), esto se debe a que la harina de quinua germinada es una buena fuente de proteínas. Cabe señalar que 20% no solo tiene una mayor cantidad de proteínas, sino que también tiene una mejor calidad de estas debido a su contenido de aminoácidos.

Por otro lado, según FUNIBER (2017) , el contenido proteico de un pan de molde peruano es aprox. 8.59 por ciento. Asimismo, Yela (2004) quien analizó panes de molde comerciales de distintas marcas obtuvo porcentajes entre 7.35 y 8.35. Al comparar los valores anteriores con los datos obtenidos, se demuestra que se logró incrementar el duplicar el contenido de proteínas con respecto a los panes comerciales.

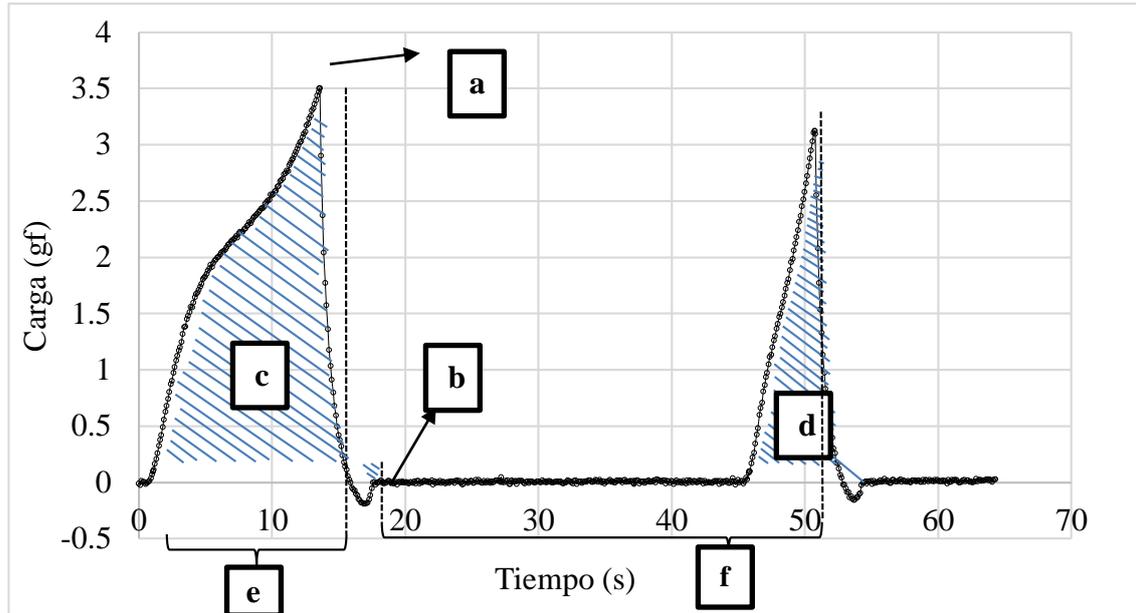


Figura 29. Gráfica del análisis de perfil de textura de la mejor formulación (pan con 20% harina de quinua germinada), donde (a) es la dureza, (b) la adhesividad, (d)/(c) es la cohesividad, (f)/(e) es la elasticidad, (a)x(d)/(c) es la gomosidad y (a)x(d)x(f)/((c)x(e)) es la masticabilidad

Tabla 23: Tabla comparativa de análisis químico proximal, de calcio y energético de la mejor formulación (20%) y del Control (100% base seca)

Análisis	Unidad	20%	Control
Materia seca ⁽¹⁾	%	88.85 ± 0.02 ^a	84.05 ± 0.03 ^b
Proteína ⁽¹⁾	%	14.76 ± 0.23 ^a	10.97 ± 0.08 ^b
Extracto etéreo ⁽¹⁾	%	1.38 ± 0.08 ^a	0.76 ± 0.05 ^b
Fibra cruda ⁽¹⁾	%	0.83 ± 0.02 ^a	0.56 ± 0.09 ^b
Cenizas ⁽¹⁾	%	2.48 ± 0.07 ^a	1.84 ± 0.16 ^b
ELN ^{(1) (2)}	%	80.54 ± 0.36 ^a	85.86 ± 0.36 ^b
Calcio ⁽¹⁾	%	0.38 ± 0.01 ^a	0.27 ± 0.05 ^b
Valor energético ⁽³⁾	Kcal	403.54	401.52

(1) Promedio de 3 repeticiones ± DE. Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma fila muestran diferencias significativas según la prueba t ($p < 0.05$).

(2) Extracto Libre de Nitrógeno.

(3) Estimados a través de los factores de conversión de Atwater, según lo indicado por Riumallo (2017).

Arone (2015) obtuvo valores similares a los reportados en la Tabla 23, valores entre 13.83 y 15.93 por ciento para panes con harina de quinua y chia, lo que demuestra que la adición de quinua (en sus diversas presentaciones) en las formulaciones de pan genera un incremento en el contenido proteico.

Respecto al contenido de grasas, los resultados de la Tabla 23 muestran que 20% posee 81.88 por ciento más grasa que el Control, esto debido a que la harina de quinua germinada (5.64 por ciento, Tabla 13) posee más grasa que la harina de trigo (2 por ciento según FUNIBER, 2017).

Por otro lado, según FUNIBER (2017), el contenido de grasas de un pan de molde peruano es aprox. 3.16 por ciento. Asimismo, Silveira y Salas (2013) mencionan que el contenido de lípidos de panes comerciales es de 6.3 por ciento. Ambos valores muy por encima del valor obtenido, esto debido a que los panes comerciales llevan en su formulación mantequilla, aceites, entre otros tipos de grasas, a diferencia de los panes elaborados, a los que no se les adicionó ningún tipo de grasa en su formulación. Ciertamente ambos panes poseen un bajo contenido de grasas.

Respecto al contenido de fibra cruda, los resultados de la Tabla 23 muestran que 20% posee el mayor contenido de fibra cruda (48.21 por ciento más que el Control), esto debido al mayor contenido de fibra cruda en la harina de quinua germinada (5.41 por ciento, Tabla 13) respecto a la harina de trigo (1.5 por ciento según FUNIBER, 2017).

Por otro lado, según FUNIBER (2017), el contenido de fibra cruda de un pan de molde peruano no es significativo. Esta fue una de las razones por las que De la Cruz (2009) sustituyó harina de trigo por harina de quinua y suero (en porcentajes del 17 por ciento, en total) en panes de molde logrando incrementos del 128 por ciento, incremento mucho mayor al que se obtuvo. Sin embargo, cabe resaltar la importancia de la presencia de fibra en los panes, ya que es beneficiosa para la salud de las personas diabéticas, con colesterol elevado y/o obesidad (Arroyave y Esguerra, 2016).

Respecto al contenido de cenizas, los resultados de la Tabla 23 muestran que 20% posee el mayor contenido de cenizas (34.78 por ciento más que F4), esto se debe a que la quinua

germinada fue molida en su totalidad para la obtención de harina, motivo por el cual presentó un elevado contenido de minerales y por ende elevado contenido de cenizas (Arone, 2015). Además, de por sí la harina de quinua germinada (2.12 por ciento, Tabla 13) posee un mayor contenido de cenizas que la harina de trigo (0.6 por ciento según FUNIBER, 2017).

Según la NTP 2006.004 (INDECOPI, 2008), el límite máximo permisible de cenizas en panes de molde es de 4 por ciento (expresado en base seca), ambos panes elaborados cumplen con esta disposición. Por otro lado, Yela (2004) reportó valores de cenizas entre 2.33 y 3.45 por ciento para panes de molde comerciales, valores cercanos al de 20%.

Por último, respecto al contenido de carbohidratos, los resultados de la Tabla 23 muestran que 20% posee 6.20 por ciento menos carbohidratos que el Control, esto debido a que conforme se aumenta el porcentaje de sustitución de trigo por una harina sucedánea, disminuye el porcentaje de carbohidratos (Arroyave y Esguerra, 2006).

Por otro lado, según FUNIBER (2017), el contenido de carbohidratos de un pan de molde peruano es de 87.37 por ciento. Asimismo, De la Cruz (2009) obtuvo un contenido de carbohidratos de 77.81 por ciento para panes con 13.93 por ciento de quinua en su formulación. El valor obtenido es más cercano al mencionado por el primer autor. La gran diferencia entre los valores de carbohidratos mencionados y la literatura radica en que los diversos autores utilizan más que solo cuatro ingredientes en sus formulaciones, lo que genera que haya disminución en el contenido de carbohidratos, pero incrementos en el contenido de grasas, principalmente.

Finalmente, respecto al contenido de calcio, se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el contenido de calcio de 20% y el Control, siendo el primero 29 por ciento mayor que el segundo, es decir, al utilizar harina de quinua germinada en la formulación se logró incrementar significativamente el contenido de calcio, esto, ya que, la harina de quinua germinada (0.56 por ciento, Tabla 12) posee un mayor contenido de calcio que la harina de trigo (0.36 por ciento según FUNIBER, 2017).

Por otro lado, según FUNIBER (2017), el contenido de calcio de un pan de molde peruano es de 0.13 por ciento. Asimismo, Piscoya (2002) quien elaboró panes de molde con adición

de propionato de calcio obtuvo porcentajes de 0.16 para pan testigo, 0.55 y 0.83 para panes con adición de 150 y 200 mg de calcio por unidad de pan, respectivamente. Al comparar los valores anteriores con los datos obtenidos, se demuestra que se logró incrementar el contenido de calcio en más del doble respecto a los panes comerciales. Sin embargo, el contenido de calcio del pan con 20 por ciento de harina de quinua germinada es menor que el de panes con adición directa de calcio.

b.2. COMPUESTOS FENÓLICOS

En la Figura 30, se presenta el contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) (expresado en mg de ácido gálico (EAG)/ 100 g quinua) de quinua Pasankalla, quinua Pasankalla germinada y la mejor formulación (F2).

Se obtuvo que si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) de las tres materias evaluadas, teniéndose el mayor contenido en la quinua Pasankalla germinada 32 h (215.38 mg EAG/100g), seguido por la quinua Pasankalla (117.28 mg EAG/100g) y finalmente el pan con 20% de harina de quinua germinada (76.42 mg EAG/100g).

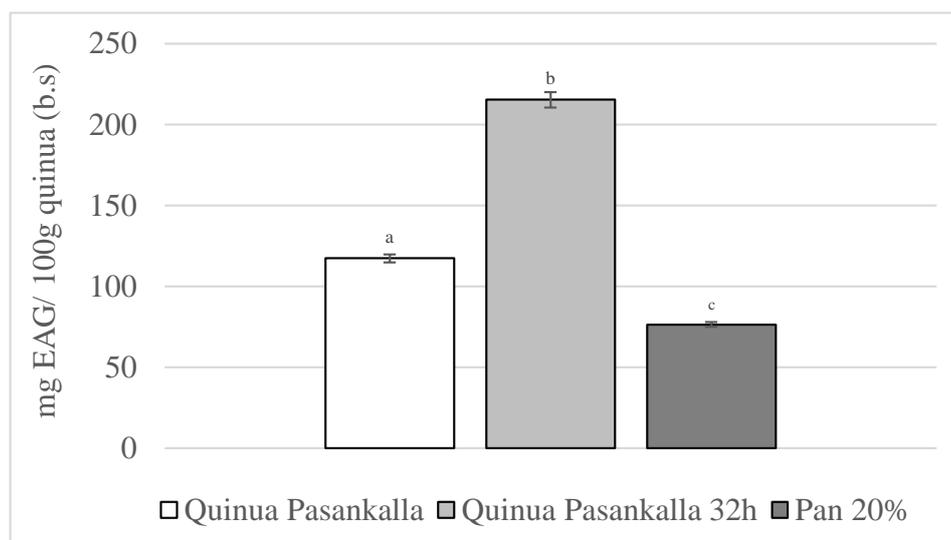


Figura 30. Contenido de compuestos fenólicos totales⁽¹⁾ (expresado en mg EAG/100g quinua) de quinua Pasankalla, quinua Pasankalla germinada por 32 h y pan 20%

Abderrahim *et al* (2015) reportan que el contenido de CFT para quinuas provenientes del altiplano peruano se encuentra en el rango de 128 a 452 mg EAG/100 g b.s.. Este rango se encuentra muy por encima del valor obtenido para quinua Pasankalla. Asimismo, Repo-Carrasco y Encina (2008) presentan un rango mucho más cercano al valor obtenido, ellos analizaron quince variedades de quinuas provenientes de diversos lugares del Perú, obteniendo CFT entre 35.29 - 139.94 mg EAG/100 g b.s. Por otro lado, Miranda *et al.* (2010) analizaron seis ecotipos de quinuas chilenas obteniendo CFT entre 14.22 – 65.53 mg EAG/100 g b.s. Los autores presentan contenidos de CFT en quinua bastante variables, esto, ya que, los CFT se ven influenciados por las condiciones agroecológicas del lugar donde es sembrada la quinua. Cabe resaltar que los CFT más abundantes en quinua son el ácido vanílico y ácido ferúlico (Tang *et al.*, 2015), estos son formados por la vía del ácido Shikímico (Peñarrieta *et al.*, 2014).

Carciochi *et al.* (2016) aplicaron la germinación a semillas de quinua de la variedad Real, proveniente de Buenos Aires, obteniendo incrementos de hasta 101 por ciento de CFT respecto a la quinua sin germinar; Aguilar *et al.* (2019) trabajaron con semillas de quinua Pasankalla roja obteniendo incrementos de 49.6 por ciento de CFT respecto a la quinua sin germinar. Además, al analizar tres variedades diferentes de quinuas demostraron que la germinación no afecta de la misma manera a todas las variedades.

El incremento de CFT que se obtuvo experimentalmente fue de 83.65 por ciento, valor que se encuentra en el rango de los valores mencionados en el párrafo anterior. Además, Carciochi *et al.* (2016) mencionan que los CFT que tuvieron mayor incremento durante la germinación fueron el ácido p-cumárico y el ácido vanílico, determinados mediante cromatografía HPLC. Asimismo, resaltaron la importancia de la germinación como una excelente estrategia para producir ingredientes enriquecidos de una manera natural, lo que se comprobó con el incremento de CFT.

Se obtuvo una disminución de poco más de la mitad (64.52%) del contenido de CFT en quinua Pasankalla germinada 32 h respecto al pan 20%, esto debido a dos motivos principalmente. El primero es que el pan 20% no tenía 100 por ciento harina de quinua germinada en su formulación, sino solo 20 por ciento de esta. El segundo motivo es que, como mencionan Miranda *et al.* (2010) y Gil *et al.* (2007), la exposición a altas temperaturas (en este caso, el horneado a 165°C) genera pérdidas significativas en los CFT.

V. CONCLUSIONES

1. La quinua Pasankalla germinada fue la mejor variedad en germinar en comparación con la variedad Negra Collana, y el mejor tiempo de germinación fue el de 32 h en comparación con los tiempos 8 h, 16 h, 24 h, 40 h y 48 h, ya que, fue en este, en el que se generó el mayor contenido de azúcares reductores (AR) (19.62 g glucosa/100 g de quinua), lográndose más del triple de contenido de AR en comparación con la materia prima sin germinar.
2. El pan con 20% de sustitución de harina de trigo por harina de quinua germinada fue el mejor en comparación con los panes con 15%, 25% de sustitución y Control, pues presentó una buena calidad interna, calidad externa y calidad asociada a la textura; es decir, tuvo una buena aceptación sensorial por parte de los panelistas. Además, presentó volumen específico (2.37 mL/g), esfuerzo requerido para la deformación (429.66 gf) y color, aceptables (iguales o superiores a un pan 100% harina de trigo). Además, presentó contenido de calcio y de compuestos fenólicos totales (CFT) mayores a los de un pan comercial.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar análisis cromatográfico a las muestras de harina de quinua sin germinar y germinada para identificar los azúcares reductores generados y sus concentraciones.
- Realizar estudios al almidón y su degradación a lo largo del proceso de germinación y panificación.
- Realizar estudios de biodisponibilidad y efectos *in vivo* de las proteínas y compuestos fenólicos totales presentes en la harina de quinua germinada y pan.
- Realizar análisis a las masas panarias para evaluar el efecto de la adición de harina de quinua germinada en una formulación.
- Determinar el tiempo de vida útil del pan para que en el caso este sea técnica y financieramente viable, se pueda comercializar sin inconvenientes de deterioro organoléptico.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abderrahim, F; Huanatico, E; Segura, R; Arribas, S; Gonzales, M; Condezo-Hoyos, L. (2015). Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* W.) from Peruvian Altiplano. *Revista Food Chemistry*. 183: 83-90. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.03.029
- A.B.S.C. (American Society of Brewing Chemists). (1978). *Methods of Analysis of the A.B.S.C. Approved methods*. Technical Commite and editorial board. USA.
- A.A.C.C. (American Association of Cereal Chemist). (2005). *Approved methods*. 10th Edition. Association St. Paul. USA.
- Ahamed, N; Singhal, R; Kulkami, P; Pal, M. (1996). *Physicochemical and functional properties of Chenopodium quinoa W. starch*. Botanical Research Institute, Lucknow. India.
- Afify, A; El-Beltagi, H; El-Salam, S; Omran, A. (2011). Bioavailability of iron, zinc, phytate and phytase activity during soaking and germination of white sorghum varieties. *Plos One*. 6, 1–7. doi: 10.1371/journal.pone.0025512
- Aguilar, J; Miano, A; Obregón, J; Soriano, J; Barraza, G. (2019). Malting process as an alternative to obtain high nutritional quality quinoa flour. *Journal of Cereal Science*. 90. doi: 10.1016/j.jcs.2019.102858
- Alasino, M. (2009). *Harina de arveja en la elaboración de pan. Estudio del efecto de emulsionantes como mejoradores de volumen y vida útil*. Tesis para optar el grado

académico de Magister en Ciencia y Tecnología de alimentos. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

Aldana, M. (2019). Efecto del geminado en el contenido de nutrientes y antinutrientes en tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) de la región Junín. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.

Álvarez, C. (2012). Elaboración y caracterización de dos bebidas proteicas, una a base de quinua malteada y la otra a base de quinua sin maltear (*Chenopodium quinoa*). Tesis para optar el título profesional de ingeniero en industrias Alimentarias. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.

Alvis, A; Pérez, L; Arrazola, G. (2011). Estudio de propiedades físicas y viscoelásticas de panes elaborados con mezclas de harina de trigo y de arroz integral. Información Tecnológica. 22(4): 107-116. doi: 10.4067/S0718-07642011000400012.

Anzaldúa-Morales, A. (1994). Evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Primera edición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.

A.O.A.C. (2007). Official Methods of Analysis. 18th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Va. USA.

Apaza, A; Cáceres, G; Estrada, R; Pinedo, R. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. FAO e INIA. Primera edición p. 30-34.

Arapa, P. & Padrón, C. (2014). Determinación de características físicas en semillas de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) mediante procesamiento digital de imágenes. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de alimentos. 5(2):148-165. Recuperado de <https://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/documents/2017septemberdeterminaciondecaracteristicasfisicasensemillasdequinuachenopodiumquinoawilldmediantepr.pdf>

Arenas, L. & Heredia, A. (2017). Calidad y germinación de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa W.*) almacenadas artesanalmente por productores. Requisito

parcial para obtener el título de ingeniero Agrónomo. Universidad de ciencias aplicadas y ambientales. Bogotá, Colombia.

Arroyave, L. & Esguerra, C. (2006). Utilización de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) en el proceso de panificación. Tesis para optar el título de ingeniero de alimentos. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.

Arteta, M; Flores, J; Hidalgo, R. (2017). Propuesta de una empresa de pan: PAN SANO SAC. Trabajo de investigación para optar el grado académico de bachiller. Universidad San Ignacio de Loyola. 102 p.

Arzapalo, D; Huamán, K; Quispe, M; Espinoza, C. (2015). Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) Negra collana, Pasankalla roja y blanca Junín. Revista Sociedad Química del Perú. 81(1). Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2015000100006

Ayernor, G. & Ocloo, F. (2007). Physicochemical changes and diastatic activity associated with germinating paddy rice. African journal of food science. 1: 37-41. doi: 10.1111/jfpp.12211

Badui, S. (2006). Química de los alimentos. Cuarta edición. Editorial Pearson. México. 702 p.

Barbeau, W; Griffey, C; Yan, Z. (2006). Evidence that minor sprout damage can lead to significant reductions in gluten strength of winter wheats. Cereal Chemistry. 83: 306-310. doi: 10.1094/CC-83-0306

Barcina, Y. & Ibáñez, F. (2001). Análisis sensorial de alimentos: métodos y aplicaciones. Barcelona, España, Taylor & Francis. p. 126.

Bau, H; Villaume, C; Nicolas, J; Méjean, L. (1997). Efecto de la germinación sobre la composición química, los constituyentes bioquímicos y los factores antinutricionales de las semillas de soja. Journal of Agriculture and Food Research. p. 1-9.

- Bewley, J. (1997). Germinación de semillas y latencia. La célula vegetal. Revista American Society of Plant Physiologists p.1055 – 1066
- Bewley, J; Bradford, K; Hilhorst, H. (2012). Seeds: Physiology of development, germination and dormancy. Springer Science & Business Media.
- Blanco, T; Alvarado, C; Muñoz, A; Muños, C. (2001). Evaluación de la composición nutricional de la quinua (*Chenopodium quinoa* W.) procedente de los departamentos de Junín, Puno, Apurímac, Cusco y Ancash. Recuperado de http://www.revistasacademicas.usmp.edu.pe/_uploadE/articulos/4f677-art2_vol2_n1-2.pdf.
- Bravo, M; Reyna, J; Gómez, P; Huapaya, M. (2013). Estudio químico y nutricional de granos andinos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa*). Revista Peruana de Química e Ingeniería Química 16: 54-60. Recuperado de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/6558/5825>.
- Calaveras, J. (2004). Nuevo tratado de panificación y bollería. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 621.
- Carciochi, R; Galván, L; Vandendriessche, P; Chollet, S. (2016). Effect of germination and fermentation process on the antioxidant compounds of quinoa seeds. Journal of Plant Foods for Human Nutrition. p. 3-6. doi: 10.1007/s11130-016-0567-0
- Carrera, P. (1995). Sustitución de harina de por quinua (*Chenopodium quinoa*) en la elaboración de pan. Tesis para optar el título profesional de ingeniero en industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Cauvain, S. & Young; L. (2006). Productos de panadería: ciencia, tecnología y práctica. Segunda edición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. 189 p.
- Cauvain, S. (2012). Breadmaking Improving quality. Second edition. Ed. Woodhead publishing. Philadelphia, USA. p. 2-17.

- Cerovich, M. & Miranda, F. (2004). Almacenamiento de semillas: Estrategia básica para la seguridad alimentaria. Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela CENIAP.
- Cervilla, N; Mufare, J; Calandri, E; Guzman, C. (2012). Propiedades físicas de semillas y análisis proximal de harina de *Chenopodium quinoa* W. cosechadas en distintos años y provenientes de la provincia de Salta. II Jornadas de Investigación en Ingeniería del NEA y Países Limítrofes. Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. p. 14-15.
- Céspedes, J. (2015). Influencia de la frecuencia sonora de 528Hz en la germinación de semillas de *Chenopodium quinoa* (Quinua). Tesis para optar el título de ingeniero biotecnólogo. Universidad Católica de Santa María. Arequipa, Perú.
- Chacchi, K. (2009). Demanda de la quinua (*Chenopodium quinoa* W.) a nivel industrial. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Chaparro, D; Pismag, R; Elizalde, A; Vivas, N; Erazo, C. (2011). Efecto de la germinación sobre el contenido de hierro y calcio en amaranto, quinua, guandul y soya. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. 9 (1): 51-59. Recuperado de <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/763>
- Clark, S; Costello, M; Drake, M; Bodyfelt, F. (2009). The Sensory evaluation of dairy products. 2nd Edition. New York, USA. 573 p.
- Cobo, G; Quiroz, M; Santacruz, S. (2013). Sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* B.) en la elaboración de pan. Avances en ciencias e ingenierías. Quito, Ecuador. Vol 5(2): 41-44. doi: 10.18272/aci.v5i2.140

- Constanza, C; Hernández, B; Vargas, M. (2015). Azúcares adicionados a los alimentos: efectos en la salud y regulación mundial. *Revista de la Facultad de Medicina* 64 (2): 319-329. doi: 10.15446/revfacmed.v64n2.52143.
- Cortes, W; Ibla, J; Calderón, L; Herrera, A. (2013). Cuantificación de azúcares reductores en las cáscaras de naranja y banano. *Journal Technology*. 12(2): 72-76. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041504>.
- Costell, E. & Durán, L. (1982). El análisis sensorial en el control de la calidad de los alimentos IV. Realización y análisis de datos. *Revista Agroquímica y Tecnología Alimentaria*. 22(1): 1-21.
- Cruz, M. (2017). Aplicaciones de la semilla germinada de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en la mejora nutricional de los preparados alimentarios. Tesis para optar el título de ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- Cueva, Y. (2017). Producción de α amilasas mediante fermentación submersa de *Aspergillus Niger* para su empleo en procesos de panificación. Tesis para optar el título de ingeniero en Biotecnología. Universidad de las Américas. Quito, Ecuador.
- Czukur, B. (2000). Tratamiento: Carbohidratos en Semillas de Legumbres de Grano, mejora de la calidad nutricional y características agronómicas. Editorial Hedley, CABI Publishing. Norwich, Reino Unido. p. 112 – 115.
- Davila, M; Sangronis, E; Granito, M. (2003). Leguminosas germinadas o fermentadas: alimentos o ingredientes de alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 53(4): 348-354. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222003000400003
- Dario, L. & Penagos, E. (1985). Balanceamiento de fórmulas. Primera edición. SENA. Bogotá, Colombia.
- De La Cruz, W. (2009). Complementación proteica de harina de trigo (*Triticum aestivum L.*) por harina de quinua (*Chenopodium quinoa W.*) y suero en pan de molde y tiempo

de vida útil. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

De La Horra, A; Seghezzo, E; Molfese, P; Ribotta, P; León, A. (2012). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Revista Agriscientia* 29(2): 81-89. doi: 10.31047/1668.298x.v29.n2.3886

Díaz, R. & Hernández, M. (2012). Propiedades reológicas y de textura de Formulaciones para panificación con inclusión de quinua. *Vitae*. 19(1): 270-272. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914082.pdf>

Drake, M. (2007). Sensory Analysis of dairy foods. *Journal of dairy science*. Vol 90(11): 4925-4937.

Egas, L; Villacrés, E.; Salazar, D.; Peralta, E.; Ruilova, M. 2010. Elaboración de un cereal para desayuno con base a quinua (*Chenopodium quinoa* W.) expandida. *Revista Tecnológica ESPOL-RTE* 23(2): 9-15. Recuperado de <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/50/21>

Eblinger, H. (2009). *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets*. Ed. Wiley BCH. Germany.

Encarnación. S. & Salinas, J. (2017). Elaboración de harina de plátano verde (*Musa paradisiaca*) y su uso potencial como ingrediente alternativo para pan y pasta fresca. Tesis para optar el título de ingeniero en Agroindustria. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras.

Espinoza, J. (2007). *Evaluación sensorial de los alimentos*. La Habana, Cuba, Editorial Universitaria. 116 p.

Estrada, R; Gonza, V; Apaza, V; Altamira, A; Quispe, F; Cruz, W. (2013). Avances de los proyectos de investigación “Del Perú para el mundo, quinua alimento del futuro”. Conservación y valoración de material élite de la diversidad de quinua (*Chenopodium*

quinua W.) en zonas productoras de Ayacucho, Cusco, Junín y Puno como alternativa al cambio climático. Lima, Perú.

Figueroa, E. (2010). Elaboración de pan precocido pan árabe o pita blanca con sustitución parcial con harina de quinua. Tesis para optar el título de ingeniero en industrias Alimentarias. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.

Flecha, M. (2015). Procesos y técnicas de panificación. Recuperado de https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrourense/aulavirtual2/pluginfile.php/8180/mod_resource/content/0/Procesos_y_tecnicas_de_panificacion-MANUAL.pdf

Franco, J. & Hernández, O. 2016. Efectos sobre las propiedades reológicas y panificables de la enzima transglutaminasa en masas con almidón de yuca (*Manihot esculenta*). Revistas académicas. 12(2): 56- 67. Recuperado de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/1236>

Frontela, C. (2007). Efecto de la adición de fitasa sobre la biodisponibilidad mineral *in vitro* en papillas infantiles. Tesis doctoral. Universidad de Murcia. Murcia, España.

Fundación Universitaria Iberoamericana (2017). Base de datos internacional de composición de alimentos. Recuperado de <https://www.composicionnutricional.com/alimentos>

García, D. (2011). Desarrollo de un producto de panadería con harina de quinua. Tesis para optar el título de ingeniera de alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Gil, M; Allende, A; Martínez, A. (2007). Factores que afectan al contenido de compuestos bioactivos en alimentos de IV gama. V Congreso Iberoamericano de tecnología postcosecha y agroexportaciones. Murcia, España. p. 716-724.

Gimeno, M. (2013). Mejora de las características tecnológicas y de los perfiles sensorial y nutricional de un producto de panificación mediante la formulación con aceite de oliva virgen. Tesis para optar el grado de Doctor. Universitat de Lleida. Cataluña, España.

- Gisslen, W. (2002). Panadería y repostería para profesionales. Editorial Limusa, México. 378 p.
- Gonzalez, J; Konishi, Y; Bruno, M; Valoy, M; Prado, F. (2012). Interrelationships among seed yield, total protein and amino acid composition of ten quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivar from two different agroecological regions. Journal of the Science of Food and Agriculture. 92(6): 1222-1229. doi: 10.1002/jsfa.4686.
- Gutiérrez, E. (2014). Elaboración de panes con fibra dietaria por adición de bagazo de manzana (*Malus domestica*) y mandarina (*Citrus reticulata*) en polvo. Tesis para optar el título profesional de ingeniero en industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Gutiérrez, E. (2017). El pan: la masa de todas las mesas. Ciencia, tecnología y conceptos prácticos. Primera edición. Fondo Editorial – UNALM. 140 p.
- Gutiérrez, E; Pascual, C. (2016). Caracterización de cáscara de mandarina (*Citrus reticulata*) en polvo e inclusión en una formulación panaria. Revista Agronomía colombiana. 34(1): 776-778. doi: 10.15446/agron.colomb.sup.2016n1.57938
- Hart, F. & Fisher, H. (1971). Análisis moderno de los alimentos. Ed. Acribia, España. 619 p.
- Hernández, G. & Majem, S. (2010). Libro blanco del pan. Ed. Médica Panamericana. Madrid, España. 210 p.
- Hernández, M. & Durán, D. (2012). Características reológicas del pan de agua, producto autóctono de Pamplona. Revista de la facultad de ciencias básicas. 10: 105-110. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90326388001>
- Heymann, H. & Lawless, H. (2010). Sensory evaluation of food, principles and practices. 2 Ed. Nueva York, Estados Unidos, Springer. 626 p.

- Huaman, N. (2011). Evaluación de la difusividad térmica en granos de quinua y cañihua sometidos a tratamiento térmico. Tesis para optar el grado de Magister Scientae. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Hübner, F; O'Neil, T; Cashman, K. 2010. The influence of germination conditions on beta-glucan, dietary fibre and phytate during the germination of oats and barley. *European Food Research and Technology*. 231: 27 – 35. doi: 10.1007/s00217-010-1247-1
- Huapaya, C. (2014). Elaboración de una bebida probiótica a partir de la fermentación láctica del almidón hidrolizado de harina de quinua *Chenopodium quinoa*. Tesis para optar el título profesional de biólogo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Instituto boliviano de Normalización y Calidad. (2007). Norma Boliviana Granos Andinos-Pseudocereales-Quinoa en grano- Clasificación y requisitos, NB NA 0038. Compendio Normas Técnicas y Guías de Implementación de Normas del Sector Quinoa. Bolivia.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (1988). Pan. Requisitos. NTP 206.004. Primera edición. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). Requisitos. NTP 205.062. Primera edición. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018). Informe técnico – Producción Nacional. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/boletines/produccion-nacional/2/>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2008). Liberación de nuevas variedades de quinua INIA. Nota de Prensa Innovación para el desarrollo.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2016). Quinoa INIA 420-Negra Collana. Boletín informativo. Recuperado de

<http://www.granosandinos.com/uploaDE/2/9/7/8/29785781/f-quinua-inia-420-negra-collana.pdf>

Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2016). Quinoa INIA 415-Pasankalla. Boletín informativo. Recuperado de <http://www.proquiandinos.org/uploaDE/5/1/1/6/51168285/f-quinua-inia-415-pasankalla.pdf>

Isaza, J. (2007). Taninos o polifenoles vegetales. *Revista Scientia et Technica* 33: 14-18. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903303.pdf>

Isique, J. (2014). Manual de panificación. Primera edición. Empresa editora MACRO EIRL. 103p.

Jurado, A. (2016). Crece en el Perú consumo per cápita de pan. Recuperado el 16 de julio de 2018, de <http://www.munilince.gob.pe/articulo/crece-en-el-peru-consumo-per-capita-de-pan>

Koo, W. (2017). Reporte de azúcar de caña refinada Perú 2016. *Revista AgroDataPerú* 2016. p. 2-5.

Koziol, M. (1990). Chemical Composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Journal of food composition and analysis*. Vol 5. p. 35-68. doi: 10.1016/0889-1575(92)90006-6

Lara, A. (2000). Diseño estadístico de experimentos. Análisis de la varianza y temas relacionados: Tratamiento informático mediante SPSS. Proyecto Sur de Ediciones.

Lemmens, E; Moroni, A; Pagand, J; Heirbaut, P; Ritala, A; Karlen, Y; Le, K; Van Den Broeck, A; Brounde, F; Delcour, J. (2018). Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food science and Food safety*. 18: 306-329. doi: 10.1111/1541-4337.12414

- León, A. & Rosell, C. (2007). De tales harinas, tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. Primera edición. p. 428-431.
- López, P; Correa, P; Osorio, G. (2009). Caracterización comercial de la panadería tradicional de la ciudad de Manizales. Trabajo de especialización en mercadeo. Universidad de Manizales. Colombia.
- Lupano, C. (2013). Modificaciones de componentes de los alimentos: Cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento. Buenos Aires.
- Machado, L. (1996). *Pão sem glúten: otimização de algumas variáveis de processamento*, Tesis para optar el título de magister. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, Brasil.
- Madamwar, D; Shah, A; Shah, R. (2006). Improvement of the quality of whole wheat bread by supplementation of xylanase from *Aspergillus foetidus*. *Bioresource Technology*. 97(16):2047-2053. doi: 10.1016/j.biortech.2005.10.006
- Martínez, O. & Martínez, E. (2006). Proteínas y péptidos en nutrición enteral. *Revista Nutrición Hospitalaria*. 21(2): 1–14.
- Meilgaard, M; Civille, G; Carr, B. (1991). *Sensory evaluation techniques*. CRC Press Inc. London, England.
- Mesas, J. & Alegre, M. (2002). The bread and its processing. *CyTA Journal of food*. 3(5): 307-313. doi: 10.1080/11358120209487744
- Miller, G. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*. 31: 426-438. doi: 10.1021/ac60147a030
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2017). *La quinua: Producción y comercio del Perú*. Perfil Técnico. 2:1-8.

- Miranda, P; Mufari, J; Bergesse, A; Calandri, E. (2019). Effects of whole and malted quinoa flour addition on gluten-free muffins quality. *Journal of Food Science*. 84: 147-153. doi: 10.1111/1750-3841.14413
- Miranda, M; Vega, A; López, J; Parada, G; Sanders, M; Aranda, M. (2010). Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* W.). *Journal of Industrial Crops and Products*. 32 (3): 258-263. doi: 10.1016/j.indcrop.2010.04.019
- Mishra, A.; Singh, K. Y Mishra, H. (2012). Fuzzy Analysis of Sensory Attributes of Bread Prepared from Millet based Composite Flours. *Food Science and Technology*. Vol. 48(2): 276-282. doi: 10.1016/j.lwt.2012.03.026
- Molinari, R; Constantini, L; Timperio, A; Lelli, V; Bonafaccia, F; Bonafaccia, G; Merendino, N. (2017). Tartary buckwheat malt as ingredient of gluten-free cookies. *Journal of Cereal Science*. 80: 37-43. doi: 10.1016/j.jcs.2017.11.011
- Moot, D. & Every, D. (1990). A comparison of bread baking, falling number, alpha-amylase assay and visual method for the assessment of pre-harvest sprouting in wheat. *Journal of Cereal Science*. 11: 225-234. doi: 10.1016/s0733-5210(09)80166-5
- Mosquera, H. (2009). Efecto de la inclusión de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) en la elaboración de galletas. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al Título de especialista en ciencia y tecnología de alimentos. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá – Colombia.
- Mujica, A; Jacobsen, S; Izquierdo, J; Marathe, J. (2001). Quinoa: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Recuperado de http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/podveg/cdrom/contenido/libro03/home03.htm
- Mujica, A. (2008). Quinoa negra. *Revista Agronoticias*. 39: 50-52.

- Mujica, A. & Chura, E. (2012). Cultivo de granos andinos y cereales. Editado por Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú. p. 5-102.
- Murgueytio, E. (2003). Utilización de ácido láctico y harina de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) extruida en la elaboración de pan sin gluten. Tesis para optar el título de ingeniera en alimentos. Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador.
- Nielsen, J; Villadsen, J; Lidén, G. (2003). Biorreaction engineering principles. Plenum Publishers. New York.
- Nieto, A. (1984). Efecto del malteo sobre la composición química de la quinua (*Chenopodium quinoa Wildd*). Tesis para optar el título profesional de ingeniero en industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Nieto-Mazocco, E; Rangel, A; Saldaña, A; Abraham, M. Ozuna, C. (2018). Caracterización de harinas libres de gluten y su incorporación en productos de panificación. Revista Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos. Vol 3. México. p. 11-16.
- Olivares, Y. & Ricaldi, K. (2013). Efecto del proceso de malteado en las características fisicoquímicas y químicas en la obtención de harina de maíz (*Zea mays*). Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial. Universidad Nacional del Centro del Perú. Tarma, Perú.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2011). La quinua cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/017/aq287s/aq287s.pdf>
- Osorio, M. (2018). Técnicas modernas en el análisis sensorial de los alimentos. Trabajo monográfico para titulación por examen profesional. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Othón, S. (2013). Química y almacenamiento e industrialización de los cereales. Segunda edición. AGT Editores S.A. México DF, México. 701 p.

- Pacheco, A. (2016). Elaboración de panes sin gluten utilizando harina de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) y almidón de papa (*Solanum tuberosum*). Tesis para optar el título de ingeniero en industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Pacheco, E. & Torres, E. (2007). Evaluación nutricional, física y sensorial de panes de trigo, yuca y queso llanero. *Revista Chile Nutrición*. 34(2):133-141.
- Pacheco, L. & Yesquen, J. (2011). Proceso de obtención de parámetros óptimos en la producción de ácido butírico a partir de la melaza de la caña de azúcar. Tesis para optar el título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- Pamplona, J. (1999). Enciclopedia de los alimentos. Tratado de Bromatología y Dietoterapia, Editorial San Feliz. Madrid. p. 86-87.
- Paredes, J. (2018). Influencia de la adición de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y harina de tocosh sobre las características tecnológicas del pan de molde. Tesis para optar el título de ingeniero agroindustrial. Universidad Nacional del Santa. Chimbote, Perú.
- Pascual, G. & Zapata, J. (2010). Sustitución parcial de harina de trigo *Triticum aestivum* L. por harina de kiwicha *Amaranthus caudatus* L., usando el método directo y esponja y masa, en la elaboración de pan. *Revista Sociedad Química del Perú*. 76(4). Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000400008
- Paucar, L; Peñas, E; Dueñas, M; Frias, J; Martínez, C. (2017). Optimizing germination conditions to enhance the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity of kiwicha (*Amaranthus caudatus*) using response surface methodology. *LWT – Food Science and Technology*. 76: 245 -252. doi: 10.1016/j.lwt.2016.07.038
- Peñarrieta, J; Tejada, L; Mollinedo, P; Vila, J; Bravo, J. (2014). Phenolic compounds in Food. *Bolivian Journal of Chemistry*. 31(2): 68-81. doi: 10.5772/51687

- Pezúa, R. (2017). Digestibilidad *in vitro* de la proteína y la composición nutricional de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) germinada y cocida. Tesis para optar el título de ingeniero en industrias Alimentarias. Universidad Nacional José María Arguedas. Apurímac, Perú.
- Piscoya, C. (2002). Formulación, elaboración y prueba de aceptabilidad de pan francés fortificado con calcio en 2 concentraciones diferentes. Tesis para optar el grado de licenciada en nutrición. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Pita, J. & Pérez, F. (1998). Germinación de semillas. Boletín del ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Madrid. Vol 2090. p. 2-20.
- Ponce De León, E; Matallana, M; Torija, E. (2011). Germinados o brotes. Su interés en la alimentación actual. Revista científica del Colegio Oficial de Farmacéuticos de Madrid. 10: 5-13. doi: 10.12873/401ponce
- Prasada, U. & Hemalata, M. (2014). Enzymes in Bakery Products. Science and Technology. John Wiley & Sons. p. 275-294. doi: 10.5772/53168
- Quinde, Z. (1995). Determinación de parámetros de malteo y su efecto en la composición química de la kiwicha. Tesis para optar el título de ingeniero en industrias alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- RAE. Real Academia de la Lengua Española. (2018). Pan. Recuperado de <http://dle.rae.es/?id=RcmAvfa>
- Ramírez, E. (2015). Elaboración de sopa deshidratada a partir de germinado y hojas de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) y arveja (*Pisum sativum*). Tesis para optar el título profesional de ingeniero en industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Ramírez, J. (2012). Análisis sensorial: Pruebas orientadas al consumidor. Primera edición. 12: 86-93.

- Ramos, I. (2016). Panadería y pastelería comercial. Primera edición. Empresa editora MACRO EIRL. Lima, Perú. 214 p.
- Repo-Carrasco R. (1992). Cultivos andinos y la alimentación infantil. CCTA. Lima, Perú
- Repo-Carrasco, R. & Encina, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y Kiwicha (*Amaranthus caudatus*). Revista Sociedad Química del Perú. 74(2): 85–99. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810634X200800020002
- Repo-Carrasco, R; Espinoza, C; Jacobsen, S. (2003). Nutritional value and use of andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). Food Reviews International 19: 179-189. doi: 10.1081/FRI-120018884
- Repo-Carrasco, R; Hellström, J; Pihlava, J; Mattila, P. (2010). Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). Journal of Food Chemistry. 120(1): 28–33. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.09.087
- Riera, M. (2011). Estudio de la acción fuertemente quelante del ácido fítico como factor antinutricional en granos andinos y su incidencia en la baja biodisponibilidad de minerales. Tesis para optar el título de ingeniero bioquímico. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.
- Riumallo, J. (2017). Requerimientos y recomendaciones de energía y proteínas. Recuperado el 4 de junio de 2019, de <http://www.biblioteca.org.ar/libros/88605.pdf>
- Rodríguez, J; Pierdant, A; Rodríguez, C. (2010). Estadística aplicada II: Estadística en administración para la toma de decisiones. Grupo editorial Patria. Primera edición. p. 295-342.

- Rojas, C; Portilla, P; Correa, E; Quila, V; Caicedo, E. (2010). Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de proteína en semillas de amaranto, quinua, soya y gandul. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 8(1).
- Román, P. (2000). Efecto de iones y otros factores físicos sobre la germinación de semillas. Journal of the mexican chemical society. Julio-Septiembre:233-236.
- Romo, S.; Rosero, A.; Forero, C.; Cerón, E. (2006). Potencial nutricional de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) variedad Piartal en los Andes Colombianos. Primera parte. Facultad de Ciencias agropecuarias. Universidad del Cauca. 4(1).
- Rosas, G. (2015). Evaluación agronómica de diez variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* W..) bajo dos sistemas de cultivo en la Unión- Leticia, Tarma. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Rosell, C; Cortez, G; Repo-Carrasco, R. (2009). Breadmaking Use of Andean Crops Quinoa, Kañiwa, Kiwicha, and Tarwi. Journal of Cereal Chemistry. 86(4): 386-392. doi: 10.1094/CCHEM-86-4-0386
- Rosenthal, A. (1999). Food texture, measurements and perception. Editorial Aspen Publisher. Maryland, USA.
- Roudot, A. (2004). Reología y análisis de textura de los alimentos. Primera edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Rubio, D. (2000). Mejora de las características reológicas de mezclas alimenticias a base de cereales, mediante el uso de harina de germinado de quinua (*Chenopodium quinoa* W.). Tesis para optar el título de ingeniero en industrias alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Salas, R. (2010). Efecto del malteado de quinua (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*) en la

elaboración de galletas. Tesis para optar el título de ingeniero agroindustrial. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Abancay, Perú.

SERNAC (Servicio Nacional del Consumidor). (2016). Reporte mensual de precios de pan. Área Metropolitana. Chile. Recuperado de <http://www.sernac.cl/wp-content/uploads/2016/01/Reporte-Pan-Noviembre-2015.pdf>

Silerio, A. & Gómez, P. (2003). Los germinados. Recuperado de <http://www.uva.org.ar/germinados.html>

Silveira, M. & Salas, M. (2013). Pan formulado con adición de harina de chia. Tesis para optar el título de ingeniero en industrias alimentarias. Universidad Federal de Rio Grande. Rio Grande, Brasil.

Singleton, V. & Rossi, J. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. 16:144-158. Recuperado de <https://www.ajevonline.org/content/16/3/144>

Swain, T. & Hillis, W. (1959). The phenolic constituents of *Prunus domestica*, L - the quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 10: 63-68.

Swieca, M; Secsyk, L.; Gawlik, U.; Dziki, D. (2014). Bread enriched with quinoa leaves: the influence of protein-phenolics interactions on the nutritional and antioxidant quality. *Journal of Food Chemistry*. 162: 54 – 62. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.04.044

Tang, Y; Li, X; Zhang, B; Chen, P; Liu, R; Tsao, R. (2015). Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* W. genotypes. *Journal of Food Chemistry*. 166: 380 - 388. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.06.018

- Tapia, M; Cardozo, A; Borda, A; Mujica, A; Otazu, V; Zanabria, E. (1979). La quinua y cañihua. Cultivos andinos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Zona Andina. Bolivia. 228 p.
- Tapia, M. (2001). Zonificación agroecológica de la quinua. Primer Taller Internacional sobre quinua: Recursos genéticos y sistemas de producción. Editado por el Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima. p. 17-27.
- Tejero, F. (2003). Pan: Los azúcares en la masa. Editorial Montagud. Barcelona, España. 25.
- Torres, K. & Chávez, K. (2016). Efecto del ácido láctico y ácido cítrico, como sanitizante y antioxidante en tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) germinada y almacenada en refrigeración. Tesis para optar el título de ingeniero en industrias alimentarias. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.
- Torres, R; González, R; Sánchez, H; Osella, C; De La Torre, M. (1999). Revista de Archivos latinoamericanos de Nutrición. 49(2): 1-4.
- Ureña, M; D'Arrigo, M; Girón, O. (1999). Evaluación sensorial de los alimentos. Aplicación didáctica. Primera edición. Editorial Agraria. 197 p.
- Valdez, J. (1995). Obtención de una mezcla nutritiva a base de quinua y cebada malteadas. Tesis para optar el título de ingeniero en industrias alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Valencia, Z; Cámara, F; Ccapa, K; Catacora, P; Quispe, F. (2017). Compuestos bioactivos y actividad antioxidante de semillas de quinua peruana (*Chenopodium quinoa* W.). Revista Sociedad Química del Perú. 83(1): 16-28.
- Vásquez, F; Verdú, S; Islas, A; Barat, J; Grau, R. (2016). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. Revista Iberoamericana de tecnología Postcosecha. 17(2): 307-317. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/813/81349041018.pdf>

- Vázquez, D. (2009). Aptitud industrial del trigo. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIA. Montevideo, Uruguay.
- Velupillai, S; Nithyanantharajah, K; Vasantharuba, S; Balakumar; S; Arasaratnam, V. (2010). Optimization of bread preparation from wheat flour and malted rice flour. *Rice Science*. 17(1): 51-59. doi: 10.1016/S1672-6308(08)60104-3
- Vidaurre, J; Dias, G; Mendoza, E; Solano, M. (2017). Variación del contenido de betalaínas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante durante el procesamiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* W.) *Revista Sociedad Química del Perú*. 83 (3): 319-329. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000300007
- Villacrés, E; Peralta, E; Egas, L; Mazón, N. (2011). Potencial agroindustrial de la quinua. *Boletín Técnico N°146*. Departamento de Nutrición y Calidad de los alimentos. Estación experimental Santa Catalina, INIAP. Ecuador. 32 p.
- Villacres, E; Cuadrado, L; Falconi, F. (2013). Los granos andinos: chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet), quinua (*Chenopodium quinoa* W.), amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) y samgorache (*Amaranthus hybridus* L.), fuente de metabolitos secundarios y fibra dietética. *Boletín Técnico N°140*. Departamento de Nutrición y Calidad de los alimentos. Estación experimental Santa Catalina, INIAP. Ecuador. 43 p.
- Villaverde, L. (2004). Evaluación sensorial de un alimento enriquecido lácteo mediante pruebas afectivas. Tesis para optar el título de ingeniero en industrias alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Wang, J.; Rosell, C.; Benedito, C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Journal of Food Chemistry*. 79: 221 – 226. doi: 10.1016/S0308-8146(02)00135-8

Yela, A. (2004). Determinación de proteínas, cenizas, sólidos totales, humedad, grado de imbibición, Ph y cloruro de sodio de diferentes marcas de pan blanco tipo sándwich de consumo masivo en Guatemala. Tesis para obtener el título de ingeniero en industrias alimentarias. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Zhang, Q; Ames, J; Smith, R; Baynes, J; Metz, T. (2009). A perspective on the Maillard reaction and the analysis of protein glycation by mass spectrometry. Probing the pathogenesis of chronic disease. *J Proteome* 8:754-769. doi: 10.1021/pr800858h

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Fichas técnicas de los insumos empleados

Ficha técnica de harina de trigo panadera Nicollini ®



Descripción del producto	Harina proveniente de 100% trigo	
Proceso de producción	El proceso de producción de harina de trigo panadera utiliza como materia prima trigo, libre de impurezas, que es humectado y sometido a un proceso de molienda del cual se obtiene harina, previa adición de aditivos, como vitaminas y enzimas.	
Agentes de proceso	Agua, aditivos (vitaminas, blanqueador, agente oxidante, agente reductor y enzimas).	
Características organolépticas	Color: Blanco marfil o ligeramente amarilla Olor y sabor: Característico.	
Especificaciones	Humedad (% Máx)	14.5%
	Proteína	12%
	Almidón	70%
	Minerales	0.5%

<<Continuación>>

	Acidez (% Máx)	0.25%
	Falling number mínimo	250 s
	Gluten húmedo (%)	26-30
	Gluten seco (%)	8.5-10
	Tiamina (mg/kg)	6.3
	Riboflavina (mg/kg)	1.3
	Niacina (mg/kg)	13
	Hierro (mg/kg)	30
	Ácido fólico (mg/kg)	1-2.6
Presentación	Sacos de 50 kg	
Condiciones de almacenamiento	Almacenar en lugar fresco y seco	
Vida útil estimada	90 días desde la fecha de envasado, en condiciones de almacenamiento adecuadas.	

Ficha técnica de agua mineral San Mateo ®



Descripción del producto	Agua mineral de manantial
Clasificación	Agua clasificada como de mineralización media
Agentes de proceso	Agua, aditivos (vitaminas, blanqueador, agente oxidante, agente reductor y enzimas).
Características organolépticas	Color: Incolora Olor y sabor: Característico

<<Continuación>>

Especificación	pH	7.5
Composición (mg/L)	Calcio	90
	Magnesio	11
	Sodio	32
	Potasio	6
Presentación	300 y 600 mL, 2.5 y 21 litros.	
Condiciones de almacenamiento	Almacenar en lugar fresco y seco	

Ficha técnica levadura seca instantánea Mauripan®



Descripción del producto	Levadura seca instantánea para uso en panadería	
Composición	Saccharomyces cerevisiae	>99%
	Emulsionante E491	>1%
Modo de uso	Producto de uso indirecto, requiere ser preparado y horneado previo a su consumo. Utilizar 1g por cada 100g de harina.	
Características organolépticas	Aspecto: Pequeños gránulos homogéneos sin impurezas. Color: Beige Olor y sabor: Característico	
Especificaciones	Humedad (% Máx)	8%
	Carbohidratos	40%
	Proteína	44%

<<Continuación>>

	Cenizas	4%
	Pentóxido de fósforo	2.55%
Presentación	Envase primario: Film trilaminado con aluminio sellado al vacío. Envase secundario: Caja de cartón corrugado	
Condiciones de almacenamiento	Almacenar en lugar fresco y seco. Evitar exposición solar.	

Ficha técnica sal yodada Emsal ®



Descripción del producto	Producto conformado por cristales finos de color blanco cristalino.	
Composición	Cloruro de sodio	>99%
	Yoduro de potasio	0.020%
	Fluoruro de potasio	0.01%
	Anticompactante (Máx)	0.002%
Modo de uso	Utilizar como ingrediente de los alimentos, ya sea para su preparación o aderezo.	
Características organolépticas	Color: Blanco cristalino Sabor: Salino característico. Olor: Característico	
Especificaciones	Humedad	<0.2
	Flúor	200 mg/kg
	Yodo	100 mg/kg

<<Continuación>>

	Calcio (Máx)	1000 mg/kg
	Magnesio (Máx)	800 mg/kg
Presentación	En bolsas de polietileno.	
Condiciones de almacenamiento	Almacenar en lugar fresco y seco. Conservar cerrado.	

Ficha técnica manteca vegetal Tropical ®



Descripción del producto	Manteca vegetal obtenida por la mezcla de grasa vegetal de palma y grasa vegetal de palmiste. Producto libre de ácidos grasos trans.	
Composición	Grasa vegetal de palma Grasa vegetal de palmiste Emulsificante E471 Antioxidantes E319	
Modo de uso	Uso directo en la panadería, pastelería, galletería, así como para frituras.	
Características organolépticas	Aspecto: Libre de materias extrañas. Color: Beige Olor: Neutro, libre de olor extraño y rancio Sabor: Neutro, libre de sabor.	
Especificaciones	Acidez libre (Máx)	0.06%
	Humedad (Máx)	0.05%

<<Continuación>>

	Índice de peróxido (Máx)	1 meq/kg
	Índice de yodo (Mín)	39% yodo abs
	Punto de fusión	43-45°C
Condiciones de almacenamiento	Mantener en un lugar fresco y seco, libre de olores extraños.	

Anexo 2: Disposiciones relativas a las tolerancias en quinua

Tolerancias admitidas para la clasificación de granos de quinua en función a su grado

Parámetros	Unidad	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3	
		Min.	Max.	Mín.	Max.	Min.	Max.
Sensoriales							
Granos enteros	%	96		90		86	
Granos quebrados	%		1.5		2.0		3.0
Granos dañados	%		1.0		2.5		3.0
Granos germinados	%		0.15		0.25		0.3
Granos recubiertos	%		0.25		0.30		0.35
Granos inmaduros	%		0.5		0.70		0.9
Impurezas totales	%		0.25		0.30		0.35
Piedrecillas en 100 g de muestra	unidades		Ausencia		Ausencia		Ausencia
Granos contrastantes	%		1.0		2.0		2.5
Insectos (enteros, partes o larvas)	unidades		Ausencia		Ausencia		Ausencia

FUENTE: NTP 205.062 (2009)

Anexo 3: Determinación de azúcares reductores (Miller, 1959 y Cortés *et al.*, 2013)

Preparación de reactivos:

- Solución DNS (en base a 1 L): Pesar 11 g de hidróxido de sodio y disolver con agua destilada. Luego añadir 10 g de DNS e igualmente disolver. En seguida, agregar 2 g de fenol y 0.5 g de bisulfito de sodio, enrasar la fiola de 1000 ml con agua destilada y agitar hasta que se disuelve por completo. Esta solución debe ser conservada en un frasco oscuro y en refrigeración.
- Sal de Rochelle: Preparar una solución al 40 % (p/v) de tartrato de sodio y potasio en agua destilada. Esta solución debe ser conservada en refrigeración.

Preparación de la curva estándar

- Solución patrón (SP): Pesar 0.2 g de glucosa anhidra, colocar en una fiola de 100 ml y enrasar con agua destilada.
- A partir de la SP, preparar las siguientes soluciones estándar:

M1: 7 ml SP

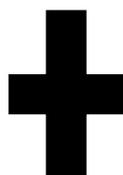
M2: 9 ml SP

M3: 11ml SP

M4: 14,5ml SP

M5: 18 ml SP

M6: 22 ml SP



Enrasar con agua destilada en un fiola de 25 ml

- Colocar en un tubo de ensayo una alícuota de 0.5 ml de cada solución estándar (incluyendo un blanco con 0.5 ml de agua) y agregar 3 ml de solución de DNS a cada tubo. Realizar el análisis por triplicado.
- Llevar a baño maría en ebullición durante 5 minutos.
- Retirar las muestras del baño maría y agregar rápidamente 1 ml de Sal de Rochelle y 10 ml de agua destilada a cada tubo, y agitar.
- Dejar enfriar y leer en el espectrofotómetro a 550 nm.

A partir de las lecturas anteriores y de las concentraciones conocidas de glucosa, se construyó una curva estándar de calibración de glucosa (Figura 1), la misma que expresa concentraciones en g glucosa/ml.

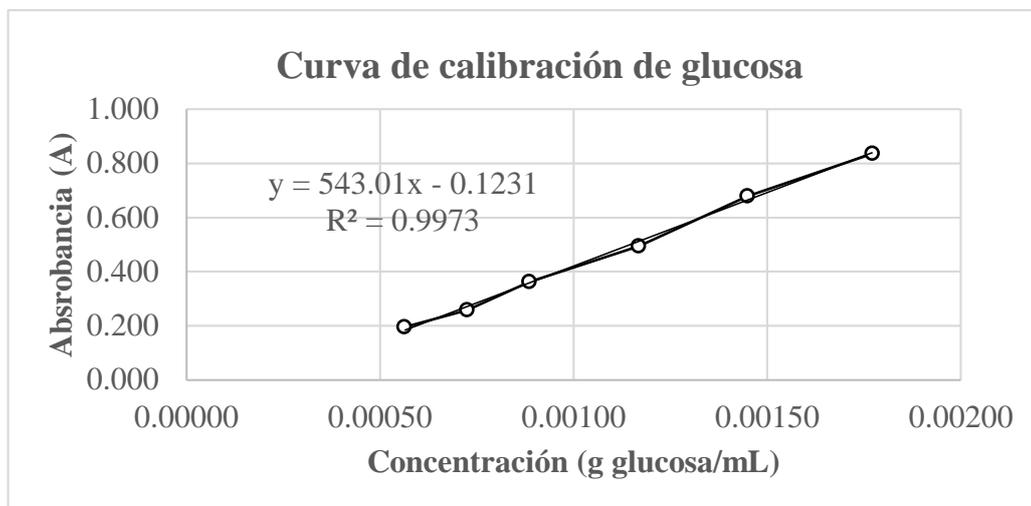


Figura 1. Curva estándar de azúcares reductores expresados como glucosa

Preparación de las muestras:

Debido a que se trabajó con muestras cuya concentración de glucosa se encontraba en un amplio rango, las muestras se acondicionaron según su naturaleza:

- Para las harinas sin germinar y harinas de panes: Pesar 1 g de muestra y enrasar con agua destilada en una fiola de 50 ml.
- Para las harinas germinadas: Pesar 0.5 g de muestra y enrasar con agua destilada en una fiola de 50 ml.
- Para ambos casos, agitar la fiola hasta que la muestra se disuelva por completo, filtrar y quedarse con la solución.

Análisis de la muestra:

- Colocar 0.5 ml de solución en un tubo de ensayo (incluyendo un blanco con 0.5 ml de agua) y agregar 3ml de solución de DNS a cada tubo. Realizar el análisis por triplicado.
- Llevar a baño maría en ebullición durante 5 minutos.
- Retirar las muestras del baño maría y agregar rápidamente 1 ml de Sal de Rochelle y 10 ml de agua destilada a cada tubo, y agitar.
- Dejar enfriar y leer en el espectrofotómetro a 550 nm.

Anexo 4: Formato usado en la prueba de aceptabilidad

TEST DE ACEPTABILIDAD GENERAL

EDAD: _____ años

Usted va a recibir una muestra de **pan de molde**. Por favor, pruébela siguiendo las instrucciones. Tenga en cuenta que su opinión es muy importante para nosotros y recuerde, no existen buenas ni malas respuestas, sino su **valiosa participación**.

Instrucciones: Observe la apariencia de la muestra, deguste y marque con una "X" sobre la recta según su opinión:

Me desagrada mucho Ni me agrada ni desagrada Me agrada mucho

Comentarios: _____

¡Muchas gracias por su colaboración!

Anexo 5: Formato usado en la prueba de preferencia pareada

PRUEBA DE PREFERENCIA PAREADA

EDAD: _____ años

Usted va a recibir dos muestras de **pan de molde**. Por favor, pruébelas siguiendo las instrucciones. Tenga en cuenta que su opinión es muy importante para nosotros y recuerde, no existen buenas ni malas respuestas, sino su **valiosa participación**.

Instrucciones: Usted debe observar, oler y degustar primero la muestra **7442** y luego la muestra **5651**. Luego, marque con una "X" cuál prefiere en cuanto a color, olor, sabor y textura.

Nota: Recuerde tomar agua entre cada muestra.

ATRIBUTO EVALUADO	7442	5651
Color		
Olor		
Sabor		
Textura		

Comentarios: _____

¡Muchas gracias por su colaboración!

Anexo 6: Composición granulométrica de harina de trigo y harina de quinua Pasankalla germinada 32 h

Harina de trigo: Repetición 1

Nº tamiz	Luz de malla (mm)	Masa del producto retenido (Mg) (g)	% retenido (Rechazo)	% Retenido acumulado	Diámetro promedio
50	300	0.10	0.1%	0.1%	176.67
60	250	0.21	0.2%	0.3%	
70	212	0.85	0.9%	1.2%	
80	177	98.33	98.3%	99.5%	
Base	-	0.51	0.5%	100.0%	
Total		100	100.0%		

Harina de trigo: Repetición 2

Nº tamiz	Luz de malla (mm)	Masa del producto retenido (Mg) (g)	% retenido (Rechazo)	% Retenido acumulado	Diámetro promedio
50	300	0.11	0.1%	0.1%	176.39
60	250	0.14	0.1%	0.3%	
70	212	0.22	0.2%	0.5%	
80	177	99.01	99.0%	99.5%	
Base	-	0.52	0.5%	100.0%	
Total		100	100.0%		

Harina de trigo: Repetición 3

Nº tamiz	Luz de malla (mm)	Masa del producto retenido (Mg) (g)	% retenido (Rechazo)	% Retenido acumulado	Diámetro promedio
50	300	0.08	0.1%	0.1%	175.26
60	250	0.19	0.2%	0.3%	
70	212	0.43	0.4%	0.7%	
80	177	98.1	98.1%	98.8%	
Base	-	1.2	1.2%	100.0%	
Total		100	100.0%		
Diámetro promedio					176.11 ± 0.75

Harina de quinua Pasankalla germinada 32 h: Repetición 1

Nº tamiz	Luz de malla (mm)	Masa del producto retenido (Mg) (g)	% retenido (Rechazo)	% Retenido acumulado	Diámetro promedio
50	300	0.51	0.5%	0.5%	177.70
60	250	1.23	1.2%	1.7%	
70	212	6.28	6.3%	8.0%	
80	177	90.27	90.3%	98.3%	
Base	-	1.71	1.7%	100.0%	
Total		100	100.0%		

Harina de quinua Pasankalla germinada 32 h: Repetición 2

N° tamiz	Luz de malla (mm)	Masa del producto retenido (Mg) (g)	% retenido (Rechazo)	% Retenido acumulado	Diámetro promedio
50	300	0.46	0.5%	0.5%	174.25
60	250	0.99	1.0%	1.5%	
70	212	4.2	4.2%	5.7%	
80	177	91.24	91.2%	96.9%	
Base	-	3.11	3.1%	100.0%	
Total		100	100.0%		

Harina de quinua Pasankalla germinada 32 h: Repetición 3

N° tamiz	Luz de malla (mm)	Masa del producto retenido (Mg) (g)	% retenido (Rechazo)	% Retenido acumulado	Diámetro promedio
50	300	0.47	0.5%	0.5%	172.03
60	250	1.03	1.0%	1.5%	
70	212	3.64	3.6%	5.1%	
80	177	90.58	90.6%	95.7%	
Base	-	4.28	4.3%	100.0%	
Total		100	100.0%		
Diámetro promedio					174.66 ± 2.86

Anexo7: Prueba de Durbin y Método de Scheffé para la evaluación de la aceptabilidad

Evaluación de la Aceptabilidad

a. Prueba de Durbin

- Se evaluó la aceptabilidad de 4 tratamientos: F1, F2, F3 y F4; cuyo contenido de harina de quinua germinada fue de 15%, 20%, 25% y control, respectivamente, entonces las hipótesis fueron:

H₀: Los tratamientos evaluados tienen igual aceptabilidad.

H_a: Al menos uno de los tratamientos tiene mayor aceptabilidad con respecto a los demás.

- El nivel de significancia (α) usado fue de 5 % y los datos (Tabla 1) fueron sometidos a la prueba de Durbin.

Tabla 1: Puntajes otorgados por los panelistas para cada una de las cuatro formulaciones de pan

Panelista	Código de tratamiento			
	F1=258	F2=741	F3=629	F4=112
1	5.6	6.4		
2	4.9		4.6	
3		6	5.3	
4		5.3	5.6	
5	5.5	5.5		
6	5.9	5		
7		3.4		3.2
8	6.2	6.4		
9		4.2		6.1
10		5	6.9	
11	8.7	9.9		
12		8.8		8
13		9.9	6.5	

<<Continuación>>

14	10	5.4		
15	8.6	4.6		
16		4		9.3
17			6.1	10
18			3.5	6.3
19	10			8
20	4.5		9.5	
21	5.8	10		
22	4.3	6.4		
23		7.2	7.5	
24		5	2.5	
25		2.3	2.3	
26			4.2	10
27	6.2	9.1		
28			5	10
29	6			5
30		10	5.5	
31	9.3	10		
32	5.3	8.4		
33	9.9			5.8
34		7.6		5
35	5.7	7.8		
36		5.1	5.4	
37	6.7	4.3		
38	5.6		5.6	
39	3.1	10		
40	6.3	6.5		

<<Continuación>>

41			5.4	6.6
42	1.8	6.5		
43	5.5			3.3
44		5.2	6	
45	2.3	10		
46		6.1	7.5	
47		5.7	5.1	
48	4.3		5	
49		6		6
50	10		6.1	
51			6.3	9.8
52		5		5
53	6.5			8.6
54			6.1	7.5
55	5.8			6.5
56	6.2		3.1	
57			6	6.5
58		2.8		4.2
59			5.5	5
60	7.1	5.5		
61			8.3	5
62			5	2.5
63			4.7	6.4
64	5.9	1.4		
65			5.3	6.2
66	6.5	5		
67	2.5		2	

<<Continuación>>

68	6		8.2
69	5.5	4.3	
70	5	4.1	
71	5.7		3.5
72	9.8		4
73	4.7	6.4	
74		3.6	2.6
75		5	6.7
76		7.1	6.4
77	5.2	8.2	
78		3.3	5
79	6.2		4.5
80	6.8	7.3	
81		6.5	8.8
82	6.6		7.8
83		5.2	3.2
84		4	9.3
85		3.7	9.9
86		5.7	5
87		8.9	9.2
88		2.7	6.2
89		7	7.2
90	4.8	5	
91	4.9	5.2	
92		5.5	6.6
93	4.7		7.8
94		5.5	8.3

<<Continuación>>

95	6.1		5.6
96		4	7.1
97		4	5
98	8.2	4.5	
99	5.5		8.3
100		2.5	8.2

- El criterio de decisión fue:

$$p \text{ valor}_{XLSTAT} = 0.023 \wedge \alpha = 0.05$$

→ $p \text{ valor} < \alpha$ → Se rechazó H_0

- En conclusión, existe diferencia significativa en la aceptabilidad de los 4 tratamientos evaluados.

b. Prueba de comparaciones múltiples: Método de Scheffé

- Se evaluó el contraste entre las medias de los cuatro tratamientos anteriores, obteniéndose la Tabla 2.

Tabla 2: Resultados de aceptabilidad media para los cuatro tratamientos

Tratamiento	F1	F2	F3	F4
Aceptabilidad media ⁽¹⁾	6.08 ^{ab}	6.25 ^{ab}	5.17 ^a	6.61 ^b

(1) promedio de 50 repeticiones. Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma fila muestran diferencias significativas según la prueba de múltiples rangos Scheffé ($p < 0.05$)

- En conclusión, existe diferencia significativa entre la aceptabilidad de F3 y F4, no existiendo diferencia entre los tratamientos F1, F2 y F4; y F1, F2 y F3, respectivamente.

Anexo 8: Prueba del signo para la evaluación de la preferencia pareada

Prueba de preferencia pareada: Atributo Color

a. Prueba del Signo

- Se evaluó si existía preferencia entre el color del tratamiento F2 y F4. Si p indica la proporción de panelistas que favorecen a F2, entonces las hipótesis fueron:

H_0 : $p=0.50$, no existe diferencia entre la preferencia por el color de los panes evaluados.

H_1 : $p \neq 0.50$, existe diferencia entre la preferencia por el color de los panes evaluados.

- El nivel de significancia (α) usado fue de 5% y los datos de preferencia por el color de los panes se definieron de la siguiente forma:

Un signo (+) si el panelista seleccionaba F2 y un signo (-) si seleccionaba F4 (Tabla 1).

Tabla 1: Prueba del signo para los resultados de los panelistas

N° Panelista	Tratamiento preferido	Signo
1	F4	-
2	F2	+
3	F4	-
4	F4	-
5	F4	-
6	F4	-
7	F2	+
8	F2	+
9	F4	-
10	F4	-
11	F4	-
12	F4	-
13	F2	+
14	F2	+
15	F2	+

<<Continuación>>

16	F4	-
17	F4	-
18	F2	+
19	F2	+
20	F2	+
21	F4	-
22	F4	-
23	F4	-
24	F2	+
25	F2	+
26	F4	-
27	F4	-
28	F2	+
29	F2	+
30	F2	+
31	F2	+
32	F2	+
33	F2	+
34	F2	+
35	F2	+
36	F2	+
37	F2	+
38	F2	+
39	F2	+
40	F4	-
41	F2	+
42	F4	-

<<Continuación>>

43	F2	+
44	F2	+
45	F2	+
46	F2	+
47	F2	+
48	F2	+
49	F4	-
50	F2	+
51	F4	-
52	F2	+
53	F2	+
54	F2	+
55	F2	+
56	F2	+
57	F2	+
58	F2	+
59	F2	+
60	F4	-
61	F4	-
62	F2	+
63	F2	+
64	F4	-
65	F2	+
66	F2	+
67	F2	+
68	F4	-
69	F2	+

<<Continuación>>

70	F4	-
71	F4	-
72	F4	-
73	F2	+
74	F2	+
75	F4	-
76	F2	+
77	F4	-
78	F4	-
79	F4	-
80	F4	-
81	F2	+
82	F2	+
83	F4	-
84	F4	-
85	F2	+
86	F2	+
87	F2	+
88	F2	+
89	F4	-
90	F4	-
91	F2	+
92	F2	+
93	F2	+
94	F4	-
95	F2	+
96	F2	+

<<Continuación>>

97	F4	-
98	F2	+
99	F4	-
100	F2	+

61 panelistas del estudio mostraron una preferencia particular por el color del F2 y se observó que sólo 39 panelistas prefirieron el color del F4, por lo que se probó la hipótesis nula (H_0) para $P(X \leq 39)$ o $P(X \geq 61)$, dado que se trata de una prueba bilateral o de dos colas.

- Se calculó la probabilidad del extremo inferior:

DISTRIBUCIÓN BINOMIAL (39,100,0.5,1)=0.0176

$$P(X \leq 39) = 0.0176$$

- Y se calculó la probabilidad del extremo superior:

DISTRIBUCIÓN BINOMIAL (61,100,0.5,1)= 0.9895

$$P(X \geq 61) = 0.9895$$

- El criterio de decisión fue:

$x < \frac{n}{2}$, y el valor calculado $2P(X \leq x, \text{ cuando } p=0.5) \leq \alpha$, entonces se rechaza H_0 .

$\rightarrow 2 < 50$ y, el valor calculado $2(0.0176) < 0.05 \rightarrow$ Se rechazó H_0

- En conclusión, existe diferencia significativa entre la preferencia por el color de los panes evaluados. Los panelistas prefieren el tratamiento F2 frente al F4, respecto al atributo color.

Prueba de preferencia pareada: Atributo Olor

- a. Prueba del Signo

- Se evaluó si existía preferencia entre el olor del tratamiento F2 y F4. Si p indica la proporción de panelistas que favorecen a F2, entonces las hipótesis fueron:

H_0 : $p=0.50$, no existe diferencia entre las preferencias por el olor de los panes evaluados.

H_1 : $p \neq 0.50$, existe diferencia entre las preferencias por el olor de los panes evaluados.

- El nivel de significancia (α) usado fue de 5% y los datos de preferencia por el olor de los panes se definieron de la siguiente forma:

Un signo (+) si el panelista seleccionaba F2 y un signo (-) si seleccionaba F4 (Tabla 2).

Tabla 2: Prueba del signo para los resultados de los panelistas

N° Panelista	Tratamiento preferido	Signo
1	F4	-
2	F4	-
3	F4	-
4	F2	+
5	F4	-
6	F2	+
7	F2	+
8	F4	-
9	F2	+
10	F4	-
11	F2	+
12	F2	+
13	F2	+
14	F4	-
15	F2	+
16	F4	-
17	F4	-
18	F4	-
19	F4	-
20	F4	-

<<Continuación>>

21	F2	+
22	F4	-
23	F4	-
24	F4	-
25	F4	-
26	F4	-
27	F4	-
28	F4	-
29	F4	-
30	F4	-
31	F2	+
32	F2	+
33	F2	+
34	F2	+
35	F2	+
36	F4	-
37	F4	-
38	F2	+
39	F2	+
40	F4	-
41	F4	-
42	F2	+
43	F2	+
44	F2	+
45	F4	-
46	F2	+
47	F2	+

<<Continuación>>

48	F4	-
49	F2	+
50	F2	+
51	F2	+
52	F2	+
53	F2	+
54	F4	-
55	F2	+
56	F4	-
57	F2	+
58	F2	+
59	F2	+
60	F2	+
61	F4	-
62	F4	-
63	F4	-
64	F2	+
65	F2	+
66	F4	-
67	F4	-
68	F4	-
69	F2	+
70	F2	+
71	F4	-
72	F4	-
73	F2	+
74	F2	+

<<Continuación>>

75	F2	+
76	F2	+
77	F2	+
78	F2	+
79	F2	+
80	F2	+
81	F4	-
82	F2	+
83	F4	-
84	F4	-
85	F2	+
86	F4	-
87	F2	+
88	F2	+
89	F4	-
90	F2	+
91	F2	+
92	F2	+
93	F2	+
94	F4	-
95	F4	-
96	F4	-
97	F4	-
98	F2	+
99	F2	+
100	F2	+

54 panelistas del estudio mostraron una preferencia particular por el olor del F2 y se observó que 46 panelistas prefirieron el olor del F4, por lo que se probó la hipótesis nula (H_0) para $P(X \leq 46)$ o $P(X \geq 54)$, dado que se trata de una prueba bilateral o de dos colas.

- Se calculó la probabilidad del extremo inferior:

$$\text{DISTRIBUCIÓN BINOMIAL } (46, 100, 0.5, 1) = 0.2421$$

$$P(X \leq 39) = 0.2421$$

- Y se calculó la probabilidad del extremo superior:

$$\text{DISTRIBUCIÓN BINOMIAL } (61, 100, 0.5, 1) = 0.8159$$

$$P(X \geq 61) = 0.8159$$

- El criterio de decisión fue:

$$x < \frac{n}{2}, \text{ y el valor calculado } 2P(X \leq x, \text{ cuando } p=0.5) \leq \alpha, \text{ entonces se rechaza } H_0.$$

$$\rightarrow 2 < 50 \text{ y, el valor calculado } 2(0.2421) < 0.05 \rightarrow \text{Se aceptó } H_0.$$

- En conclusión, no existe diferencia significativa entre la preferencia por el olor de los panes evaluados. Los panelistas no muestran preferencia ni por el tratamiento F2 ni por el F4, respecto al atributo olor.

Prueba de preferencia pareada: Atributo Sabor

a. Prueba del Signo

- Se evaluó si existía preferencia entre el sabor del tratamiento F2 y F4. Si p indica la proporción de panelistas que favorecen a F2, entonces las hipótesis fueron:

H_0 : $p=0.50$, no existe diferencia entre la preferencia por el sabor de los panes evaluados.

H_1 : $p \neq 0.50$, existe diferencia entre la preferencia por el sabor de los panes evaluados.

- El nivel de significancia (α) usado fue de 5% y los datos de preferencia por el sabor de los panes se definieron de la siguiente forma:

Un signo (+) si el panelista seleccionaba F2 y un signo (-) si seleccionaba F4 (Tabla 3).

Tabla 3: Prueba del signo para los resultados de los panelistas

N° Panelista	Tratamiento preferido	Signo
1	F4	-
2	F4	-
3	F4	-
4	F4	-
5	F2	+
6	F2	+
7	F2	+
8	F2	+
9	F2	+
10	F4	-
11	F2	+
12	F2	+
13	F2	+
14	F2	+
15	F4	-
16	F2	+
17	F2	+
18	F2	+
19	F2	+
20	F2	+
21	F4	-
22	F2	+
23	F2	+
24	F2	+
25	F2	+
26	F4	-

<<Continuación>>

27	F4	-
28	F4	-
29	F4	-
30	F2	+
31	F2	+
32	F4	-
33	F2	+
34	F4	-
35	F4	-
36	F4	-
37	F4	-
38	F2	+
39	F2	+
40	F2	+
41	F2	+
42	F4	-
43	F2	+
44	F4	-
45	F4	-
46	F4	-
47	F4	-
48	F4	-
49	F2	+
50	F4	-
51	F2	+
52	F4	-
53	F4	-

<<Continuación>>

54	F2	+
55	F2	+
56	F4	-
57	F4	-
58	F2	+
59	F4	-
60	F2	+
61	F4	-
62	F4	-
63	F2	+
64	F2	+
65	F4	-
66	F2	+
67	F2	+
68	F2	+
69	F2	+
70	F2	+
71	F2	+
72	F4	-
73	F2	+
74	F2	+
75	F4	-
76	F4	-
77	F4	-
78	F2	+
79	F4	-
80	F4	-

<<Continuación>>

81	F2	+
82	F2	+
83	F2	+
84	F4	-
85	F4	-
86	F2	+
87	F2	+
88	F4	-
89	F4	-
90	F2	+
91	F2	+
92	F4	-
93	F2	+
94	F4	-
95	F2	+
96	F4	-
97	F4	-
98	F2	+
99	F2	+
100	F4	-

54 panelistas del estudio mostraron una preferencia particular por el sabor del F2 y se observó que 46 panelistas prefirieron el sabor del F4, por lo que se probó la hipótesis nula (H_0) para $P(X \leq 46)$ o $P(X \geq 54)$, dado que se trata de una prueba bilateral o de dos colas.

- Se calculó la probabilidad del extremo inferior:

DISTRIBUCIÓN BINOMIAL $(46, 100, 0.5, 1) = 0.2421$

$P(X \leq 39) = 0.2421$

- Y se calculó la probabilidad del extremo superior:

$$\text{DISTRIBUCIÓN BINOMIAL } (61,100,0.5,1)= 0.8159$$

$$P(X \geq 61) = 0.8159$$

- El criterio de decisión usado fue:

$$x < \frac{n}{2}, \text{ y el valor calculado } 2P(X \leq x, \text{ cuando } p=0.5) \leq \alpha, \text{ entonces se rechaza } H_0.$$

$$\rightarrow 2 < 50 \text{ y, el valor calculado } 2(0.2421) < 0.05 \rightarrow \text{Se aceptó } H_0$$

- En conclusión, no existe diferencia significativa entre la preferencia por el sabor de los panes evaluados. Los panelistas no muestran preferencia ni por el tratamiento F2 ni por el F4, respecto al atributo sabor.

Prueba de preferencia pareada: Atributo Textura

a. Prueba del Signo

- Se evaluó si existía preferencia entre la textura del tratamiento F2 y F4. Si p indica la proporción de panelistas que favorecen a F2, entonces las hipótesis fueron:

H_0 : $p=0.50$, no existe diferencia entre la preferencia por la textura de los panes evaluados.

H_i : $p \neq 0.50$, existe diferencia entre la preferencia por la textura de los panes evaluados.

- El nivel de significancia (α) usado fue de 5% y los datos de preferencia por la textura de los panes se definieron de la siguiente forma:

Un signo (+) si el panelista seleccionaba F2 y un signo (-) si seleccionaba F4 (Tabla 4).

Tabla 4: Prueba del signo para los resultados de los panelistas

Nº Panelista	Tratamiento preferido	Signo
1	F4	-
2	F2	+
3	F2	+
4	F4	-

<<Continuación>>

5	F2	+
6	F2	+
7	F2	+
8	F2	+
9	F4	-
10	F2	+
11	F4	-
12	F2	+
13	F2	+
14	F2	+
15	F2	+
16	F2	+
17	F4	-
18	F4	-
19	F4	-
20	F2	+
21	F2	+
22	F4	-
23	F4	-
24	F4	-
25	F2	+
26	F2	+
27	F4	-
28	F4	-
29	F2	+
30	F4	-
31	F4	-

<<Continuación>>

32	F4	-
33	F2	+
34	F2	+
35	F4	-
36	F2	+
37	F2	+
38	F2	+
39	F4	-
40	F2	+
41	F4	-
42	F4	-
43	F4	-
44	F4	-
45	F4	-
46	F2	+
47	F4	-
48	F4	-
49	F4	-
50	F4	-
51	F4	-
52	F2	+
53	F2	+
54	F2	+
55	F2	+
56	F4	-
57	F2	+
58	F2	+

<<Continuación>>

59	F2	+
60	F2	+
61	F4	-
62	F2	+
63	F2	+
64	F2	+
65	F2	+
66	F2	+
67	F2	+
68	F2	+
69	F2	+
70	F2	+
71	F2	+
72	F2	+
73	F2	+
74	F2	+
75	F4	-
76	F2	+
77	F2	+
78	F2	+
79	F4	-
80	F2	+
81	F4	-
82	F2	+
83	F2	+
84	F2	+
85	F4	-

<<Continuación>>

86	F2	+
87	F2	+
88	F4	-
89	F4	-
90	F4	-
91	F4	-
92	F2	+
93	F2	+
94	F4	-
95	F4	-
96	F4	-
97	F2	+
98	F4	-
99	F2	+
100	F2	+

62 panelistas del estudio mostraron una preferencia particular por la textura del F2 y se observó que 38 panelistas prefirieron la textura del F4, por lo que se probó la hipótesis nula (H_0) para $P(X \leq 41)$ o $P(X \geq 59)$, dado que se trata de una prueba bilateral o de dos colas.

- Se calculó la probabilidad del extremo inferior:

DISTRIBUCIÓN BINOMIAL (38,100,0.5,1)=0.0105

$$P(X \leq 39) = 0.0105$$

- Y se calculó la probabilidad del extremo superior:

DISTRIBUCIÓN BINOMIAL(62,100,0.5,1)= 0.9940

$$P(X \geq 61) = 0.9940$$

- El criterio de decisión fue:

$x < \frac{n}{2}$, y el valor calculado $2P(X \leq x, \text{ cuando } p=0.5) \leq \alpha$, entonces se rechaza H_0 .

$\rightarrow 2 < 50$ y, el valor calculado $2(0.0105) < 0.05 \rightarrow$ Se rechazó H_0 .

- En conclusión, existe diferencia significativa entre la preferencia por la textura de los panes evaluados. Los panelistas prefieren el tratamiento F2 frente al F4, respecto al atributo textura.

Anexo 9: Muestras de pan que fueron entregadas a los panelistas

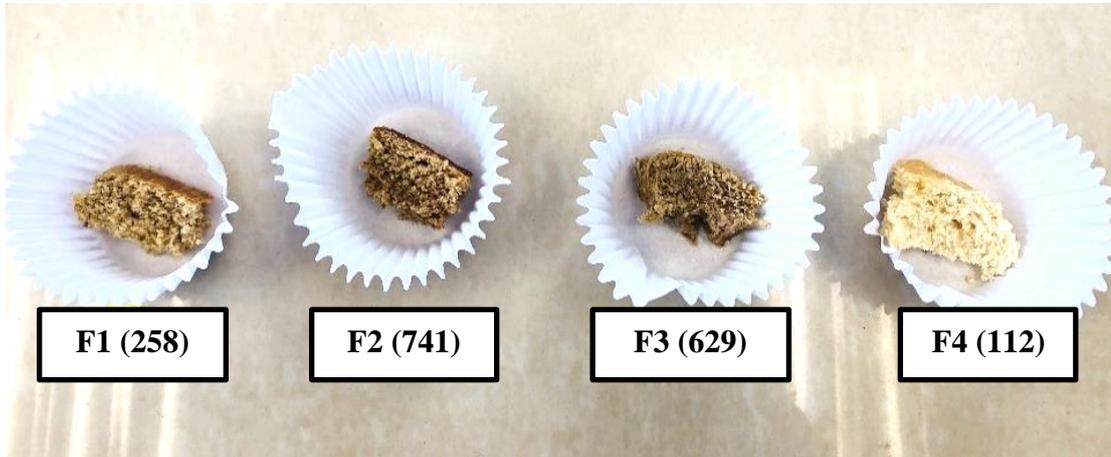


Figura 1. Muestras entregadas en la prueba de aceptabilidad

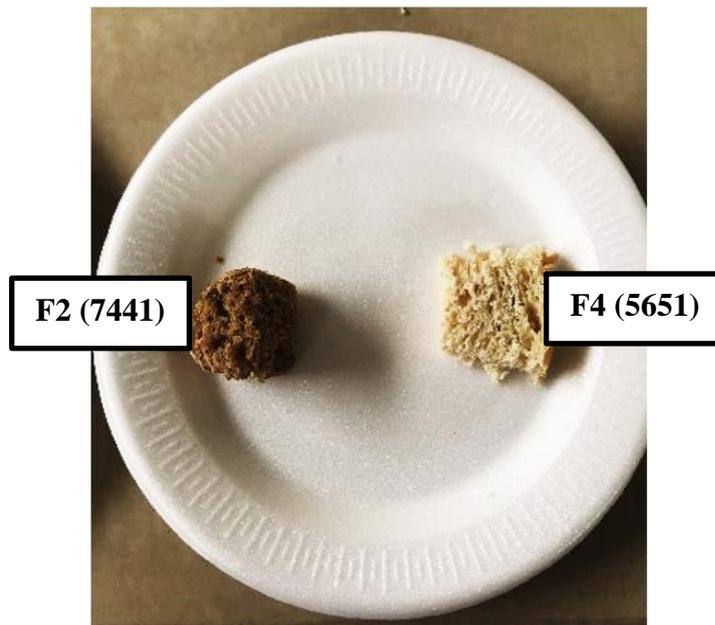


Figura 2. Muestras entregadas en la prueba de preferencia pareada