

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“ELABORACIÓN DE PANES SIN GLUTEN UTILIZANDO HARINA
DE QUINUA (*Chenopodium quinoa willd.*) Y ALMIDÓN DE PAPA
(*Solanum tuberosum*)”**

PRESENTADA POR:

ANGELETH ROSEMARY PACHECO ALFARO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

LIMA-PERÚ

2016



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



**“ELABORACIÓN DE PANES SIN GLUTEN UTILIZANDO HARINA DE QUINUA
(*CHENOPODIUM QUINOA WILLD.*) Y ALMIDÓN DE PAPA (*SOLANUM
TUBEROSUM*)”**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ANGELETH ROSEMARY PACHECO ALFARO

SUSTENTADA Y APROBADA ANTE EL SIGUIENTE JURADO:

**Mg.Sc. Gloria J. Pascual Chagman
PRESIDENTE**

**Mg.Sc. Laura Linares García
MIEMBRO**

**Mg.Sc. Beatriz Hatta Sakoda
MIEMBRO**

**Dra. Ritva Repo-Carrasco
ASESOR**

**Mg.Sc. Christian Encina
CO-ASESOR**

DEDICATORIA

*A mis padres Víctor Pacheco Vizcarra
y Rosaura Alfaro Beltrán, por todo su
amor, sacrificio y apoyo.*

*A Yolanda Beltrán Torres, mi
hermosa abuelita, quien desde el cielo
es la estrella que guía y cuida mis
pasos.*

*A Eudocio Alfaro Torres, mi querido
abuelito, quien con su sabiduría me
demuestra que es todo un modelo y
gran ejemplo a seguir.*

AGRADECIMIENTOS

A mis patrocinadores, la Dra. Ritva Repo y el M. Sc. Christian Encina, por la oportunidad del proyecto y por todo el apoyo brindado en la búsqueda del conocimiento.

A mis jurados, la Mg.Sc. Laura Linares, la Mg. Sc. Gloria Pascual, y la M.Sc. Beatriz Hatta por sus recomendaciones y apoyo brindado.

A mi amigo Julio Vidaurre, por tantísimo apoyo y generosa amistad.

A mi hermano Raúl Pacheco, por los tips y consejos para la realización de éste proyecto.

A mi enamorado Renzo Mendizábal, por todo su amor y soporte, sé que juntos lograremos nuestros sueños.

A Lucy, Liliana, Fabrizzio y Camila, mi querida familia, por todo su amor.

A mis cómplices de laboratorio Deifilia, Zaharita y Maximo por su valiosa amistad y ayuda brindada.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN LITERARIA.....	3
2.1.	PAN.....	3
2.1.1.	DEFINICIÓN	3
2.1.2.	CLASIFICACIÓN DEL PAN	4
2.1.3.	CONTENIDO PROTEICO DEL PAN	5
2.1.4.	CARACTERÍSTICAS DE LOS INGREDIENTES PRINCIPALES EMPLEADOS EN LA PANIFICACIÓN	5
2.1.5.	EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PAN	8
2.2.	QUINUA	10
2.2.1.	GENERALIDADES	10
2.2.2.	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	11
2.2.3.	ASPECTOS AGRONÓMICOS	11
2.2.4.	DIVERSIDAD GENÉTICA Y VARIEDADES	13
2.2.5.	COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL DE LA QUINUA.....	14
2.2.6.	PRODUCCIÓN DE HARINA DE QUINUA Y SUS PROPIEDADES	18
2.3.	ALMIDÓN DE PAPA.....	18
2.3.1.	FUNCIÓN EN LA PANIFICACIÓN	19
2.4.	HIDROCOLOIDES.....	20
2.4.1.	GOMA XANTANO	20
2.4.2.	FUNCIÓN DE HIDROCOLOIDES EN PANIFICACIÓN	21
2.4.3.	HIDROCOLOIDES Y EL PAN SIN GLUTEN.....	22
2.5.	ENFERMEDAD CELÍACA.....	23
2.5.1.	EPIDEMIOLOGÍA Y GENÉTICA.....	23
2.5.2.	CARACTERÍSTICAS CLÍNICAS	24
2.5.3.	TERAPIA DE LA ENFERMEDAD CELÍACA	24
2.5.4.	PRODUCTOS ESPECIALES PARA DIETA DE CELIACOS	25
2.6.	DISEÑO DE MEZCLAS	26
2.6.1.	GENERALIDADES	26
2.7.	EVALUACIÓN SENSORIAL	28

2.7.1.	PRUEBAS AFECTIVAS	28
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	30
3.2.	MATERIA PRIMA E INSUMOS	30
3.2.1.	MATERIA PRIMA	30
3.2.2.	INSUMOS	30
3.2.3.	MATERIALES Y EQUIPOS	31
3.3.	MÉTODOS DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN	31
3.3.1.	HARINA DE QUINUA.....	31
3.3.2.	ALMIDÓN DE PAPA.....	32
3.3.3.	PRODUCTO FINAL.....	32
3.4.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	33
3.4.1.	ELABORACIÓN DE PAN	33
3.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	33
3.6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	38
3.6.1.	CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS	41
3.6.2.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE Y EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE EL VOLUMEN ESPECÍFICO, ESTRUCTURA Y CONTENIDO PROTEICO	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
4.1.	CARACTERÍSTICAS DE LOS INGREDIENTES PRINCIPALES.....	46
4.1.1.	HARINA DE QUINUA.....	46
4.1.2.	ALMIDÓN DE PAPA.....	47
4.2.	EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INGREDIENTES SOBRE EL VOLUMEN ESPECÍFICO, ESTRUCTURA ALVEOLAR Y CONTENIDO PROTEICO	48
4.2.1.	VOLUMEN ESPECÍFICO DE PANES LIBRES DE GLUTEN.....	48
4.2.2.	ESTRUCTURA ALVEOLAR	55
4.2.3.	CONTENIDO PROTEICO	62
4.3.	MEZCLA ÓPTIMA	69
4.3.1.	VALIDACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN	69
4.3.2.	CARACTERIZACIÓN DE MEZCLA ÓPTIMA	70
V.	CONCLUSIONES.....	73

VI.	RECOMENDACIONES	74
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
VIII.	ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1: Principales ingredientes empleados en la panificación.	6
Cuadro 2: Composición de semillas de quinua, valores máximos y mínimos.	15
Cuadro 3: Contenido de fibra insoluble, soluble y fibra dieta total (FDT) en quinua (g/100g).....	16
Cuadro 4: Contenido de antinutrientes en quinua.	16
Cuadro 5: Formulación para la elaboración de panes libres de gluten.....	34
Cuadro 6: Restricciones sobre los ingredientes de la masa total.....	38
Cuadro 7: Porcentaje de los ingredientes principales en las 19 formulaciones de la masa Total de pan libre de gluten y quinua.	39
Cuadro 8: Formulaciones de la masa total de pan libre de gluten de quinua.	40
Cuadro 9: Composición química proximal de la harina de quinua (base húmeda).....	46
Cuadro 10: Composición químico proximal del almidón de papa (base húmeda).....	47
Cuadro 11: Valores observados y estimados de volumen específico de las formulaciones experimentales del pan.	49
Cuadro 12: Análisis de varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para el valor del volumen específico del pan	50
Cuadro 13: Prueba de significancia para los coeficientes del modelo de regresión de volumen específico	53
Cuadro 14: Valores observados y estimados del valor de la estructura alveolar de las formulaciones experimentales del pan	56
Cuadro 15: Análisis de varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para el valor de la estructura alveolar del pan.....	58
Cuadro 16: Prueba de significancia para los coeficientes del modelo de regresión de estructura alveolar.....	60
Cuadro 17: Valores observados y estimados del contenido proteico de las formulaciones experimentales del pan	64
Cuadro 18: Análisis de varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para el valor del contenido proteico del pan.....	65
Cuadro 19: Prueba de significancia para los coeficientes del modelo de regresión de contenido proteico.	67

Cuadro 20: Valores estimados y observados de las variables respuesta (mezcla óptima) .	70
Cuadro 21: Tres mejores mezclas.....	71
Cuadro 22: Resultados de la prueba de preferencia ampliada.....	91
Cuadro 23: Resultados de la prueba de satisfacción con escala hedónica.....	92
Cuadro 24: Resultados experimentales de las variables respuesta analizadas en pan libre de gluten	93
Cuadro 25: ANVA para el modelo de mezcla cuadrática.	94
Cuadro 26: ANVA para el modelo de mezcla cuadrática.	95
Cuadro 27: ANVA para el modelo de mezcla cuadrática.	96
Cuadro 28: Desviación estándar de niveles de ingredientes principales.....	98
Cuadro 29: Desviación estándar de variables respuesta.....	98

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Descripción de la planta de quinua	12
Figura 2: Plantaciones de quinua - Cajamarca	12
Figura 3: Espacio de los factores para a) una mezcla de tres componentes, b) un sistema Simplex de tres componentes	28
Figura 4: Flujo de operaciones para la elaboración de pan libre de gluten	35
Figura 5: Etapa de fermentación de la masa de pan	37
Figura 6: Etapa de enfriado de los panes horneados	37
Figura 7: Representación gráfica de los valores observados y estimados de volumen específico de las formulaciones experimentales de pan	50
Figura 8: Superficie de respuesta para el volumen específico del pan, en función del porcentaje de harina de quinua (x_1), almidón de papa (x_2) y agua (x_3)	54
Figura 9: Ploteo de contornos de la superficie respuesta para el volumen específico del pan	54
Figura 10: Trazos de Cox para la evaluación del efecto de cada ingrediente sobre el volumen específico del pan	55
Figura 11: Representación gráfica de los valores observados y estimados de la estructura alveolar de las formulaciones experimentales de pan	57
Figura 12: Superficie de respuesta para la estructura alveolar del pan, en función del porcentaje de harina de quinua (x_1), almidón de papa (x_2) y agua (x_3)	61
Figura 13: Ploteo de contornos de la superficie respuesta para la estructura alveolar del pan	61
Figura 14: Trazos de Cox para la evaluación del efecto de cada ingrediente sobre la estructura alveolar del pan	62
Figura 15: Representación gráfica de los valores observados y estimados del contenido proteico de las formulaciones experimentales de pan	65
Figura 16: Superficie de respuesta para el contenido proteico, en función del porcentaje de harina de quinua (x_1), almidón de papa (x_2) y agua (x_3)	68
Figura 17: Ploteo de contornos de la superficie respuesta para el contenido proteico del pan	68

Figura 18: Trazos de Cox para la evaluación del efecto de cada ingrediente sobre el contenido proteico del pan.....	69
Figura 19: Evaluación sensorial del pan libre de gluten, tres mejores formulaciones obtenidas, mediante una prueba de preferencia ampliada.	71
Figura 20: Evaluación sensorial del pan libre de gluten, tres mejores formulaciones obtenidas, mediante una escala hedónica (prueba de grado de satisfacción). ...	72
Figura 21: Muestras y formato de evaluación	90
Figura 22: Panelista no entrenado durante prueba sensorial	90
Figura 23: Superficie de respuesta considerando las variables respuesta sobre los niveles (%) de harina de quinua, almidón de papa y agua.....	97
Figura 24: Representación gráfica del diseño de mezclas axial considerando las variables respuesta sobre los niveles (%) de harina de quinua, almidón de papa y agua .	97

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Formato de evaluación – Prueba de preferencia ampliada	88
Anexo 2: Formato de evaluación – Prueba del grado de satisfacción con escala hedónica	89
Anexo 3: Pruebas de evaluación sensorial	90
Anexo 4: Descripción de panelistas no entrenados	91
Anexo 5: Resultados experimentales.....	93
Anexo 6: Estadísticos del diseño de mezclas para la variable volumen específico	94
Anexo 7: Estadísticos del diseño de mezclas para la variable estructura alveolar	95
Anexo 8: Estadísticos del diseño de mezclas para la variable contenido proteico.....	96
Anexo 9: Representaciones gráficas considerando las variables respuesta sobre los ingredientes principales	97
Anexo 10: Informe de validación	98

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad determinar la formulación óptima de un tipo de pan libre de gluten; que mejore el volumen, estructura de miga y contenido proteico, variando la concentración de harina de quinua, almidón de papa y agua; aplicando el método de diseño de mezclas. Para efectos de esta investigación, se evaluó en una primera etapa la composición proximal de los ingredientes que componen la masa principal del pan, estos ingredientes fueron la harina de quinua, almidón de papa y agua, a los cuales se aplicó un diseño de mezclas axial con restricciones mínimas y máximas sobre los porcentajes de los mismos. En una segunda etapa tomando el mencionado diseño se determinó dentro del universo de posibilidades de mezclas en un triángulo simplex los puntos que definieron las formulaciones experimentales (19 en total), en donde se evaluaron las variables de respuesta para cada formulación, siendo éstas el volumen específico, estructura alveolar y contenido proteico del pan horneado. En una tercera etapa se optimizó las variables de respuesta utilizando el criterio de deseabilidad global a partir de la zona de formulación factible de los modelos estimados. La formulación óptima presentó 33,04 por ciento de harina de quinua, 20 por ciento de almidón de papa y 46,96 por ciento de agua sobre la masa principal, teniendo un volumen específico de $1,9 \text{ cm}^3/\text{gr}$, estructura alveolar de $34,54 \text{ alvéolos}/\text{mm}^2$ y 8,7 por ciento de proteínas. Finalmente se caracterizó fisicoquímicamente la formulación óptima, así mismo se le evaluó sensorialmente.

Palabras clave: Quinua, almidón, celiacía, volumen, estructura, proteína.

SUMMARY

This research aims to determine the optimal formulation of gluten-free breads, which optimizes the volume, crumb structure and nutritional value, varying the concentration of quinoa flour, potato starch and water, applying the design method mixtures. For purposes of this investigation, was evaluated in a first stage the proximal composition of the ingredients that make up the bulk of the bread, these ingredients were quinoa flour, potato starch and water, to which a design is applied axial mixtures with minimum and maximum percentages of the same restrictions. In a second stage taking the above mentioned design determined within the universe of possibilities of mixtures in a triangle simplex points defined experimental formulations (19 in total), where the variables responses for each formulation was evaluated, these being specific volume baking bread, crumb structure and nutritional value (protein content). In a third step responses variables are optimized using the overall desirability criteria from the area of feasible formulation of the estimated models. The optimal formulation presented 33,04 per cent quinoa flour, 20 per cent starch potato and 46,96 per cent of water on the main body, having a specific volume of 1,9 cm³/g, 34,54 alveoli structure/mm² and 8,7 per cent protein (nutritional value). Finally the optimal formulation was physicochemically characterized, also evaluated sensorially.

Keywords: Quinoa, starch, celiac disease, volume, structure, protein.

I. INTRODUCCIÓN

La enfermedad celíaca (EC) se está convirtiendo en una enfermedad cada vez más reconocida (Niewinski, 2008). También llamada enteropatía sensible al gluten, caracterizada por el daño a la mucosa del intestino delgado causada por la fracción de gliadina del gluten del trigo y similares proteínas solubles en alcohol (prolaminas) de la cebada y del centeno en personas genéticamente susceptibles (Murray, 1999; Fasano y Catassi, 2001; Farrell y Kelly, 2002).

El consumo de gluten en pacientes celíacos causa una lesión perpetua de la mucosa, considerando que la recuperación completa de la mucosa se observa en la mayoría de pacientes que eliminan al gluten de sus dietas (Fasano y Catassi 2001). Como consecuencia de la lesión de la mucosa intestinal en pacientes celíacos, los síntomas gastrointestinales causados por la mala absorción y mala digestión, así como la desnutrición, son manifestaciones comunes de la enfermedad (Murray 1999).

La EC actualmente se conoce como universal y afecta a todas las razas. Se estima que su media prevalencia está en un rango de 1-2 por ciento de la población mundial (Rodrigo, 2006). El único tratamiento, en la actualidad, es la estricta eliminación permanente de gluten de la dieta (Niewinski 2008).

Hasta la fecha, la terapia de la nutrición para la enfermedad celíaca se ha centrado en los alimentos permitidos/no permitidos en una dieta libre de gluten y poco se ha hecho hincapié en la calidad nutricional de la dieta libre de gluten (Thompson 2000, Thompson *et al.* 2005).

Recientemente, Thompson (1999, 2000) estudió la calidad nutricional de los productos sin gluten y concluyó que muchos de estos productos contienen niveles más bajos de tiamina, riboflavina, niacina, ácido fólico y hierro en comparación con los productos que contienen trigo que están destinados a reemplazar.

Los granos andinos como la quinua y otros afines cultivados en los Andes, son plantas que forman semillas ricas en almidón, con excelentes propiedades nutritivas, ácidos grasos poliinsaturados y alto contenido en minerales. Alvarez-Jubete *et al.* (2009), afirma que las harinas de estos granos no contienen proteínas que formen gluten, convirtiéndose en una alternativa atractiva como nuevo ingrediente en la elaboración de productos para celíacos, ya que la mayoría de los productos libres de gluten en el mercado son de muy mala calidad nutricional.

Se tiene como objetivo principal elaborar panes libres de gluten utilizando harina de quinua (*Chenopodium quinoa*), almidón de papa y agua.

Los objetivos específicos son:

- Determinar la formulación óptima de panes libres de gluten a partir de quinua, que optimice el volumen y estructura de la miga, variando la concentración de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*), almidón de papa y agua.
- Obtener panes libres de gluten a partir de harina de quinua, con altos valores nutricionales para la dieta de pacientes que padecen celiaquía.
- Caracterizar los panes libres de gluten a partir de quinua (*Chenopodium quinoa*), desde punto de vista físico-químico y sensorial.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. PAN

2.1.1. DEFINICIÓN

Según Repo-Carrasco (1998), el pan es el producto esponjado con levadura. Atkins (1971) citado por Kent y Evers (1994) afirma que «el pan es fundamentalmente gluten esponjado». Pascual *et al.*, (2006) define al pan como el producto obtenido por una masa cocida y esponjosa de harina de trigo, sal, agua y levadura, perfectamente horneada. Además, se puede incorporar ocasionalmente grasa y otros mejoradores.

La composición de una masa para pan puede incluir tres grandes grupos de ingredientes:

- Insumos básicos: harina de trigo, agua, sal y levadura.
- Insumos: azúcar, grasa, leche y huevos.
- Mejoradores y aditivos: harina de sucedáneos, productos malteados, enzimas, lecitina, gluten, cloruro de amonio, antimoho, etcétera (Pascual *et al.*, 2006).

Según Hui *et al.* (2006), los ingredientes mínimos de la fórmula del pan son harina, agua, levadura y sal. Muchos otros ingredientes y aditivos están usualmente incluidos en una fórmula de pan para obtener productos panificables. Estos incluyen azúcar, grasa tipo *shortening*, leche en polvo descremada, malta, emulsificantes o acondicionadores de masa, inhibidores de hongos y oxidantes.

2.1.2. CLASIFICACIÓN DEL PAN

Según Repo-Carrasco (1998), los tipos, formas, sabores, etcétera del pan varían en diferentes países, dependiendo de los gustos locales y del tipo de cultivo de trigo de la zona.

Según Kent y Evers (1994), muchos tipos diferentes de panes han evolucionado con el paso del tiempo y todos requieren su propia estructura de burbujeo, técnicas de proceso, equipamiento de procesamiento y mecanismos de control de procesos. Los principales tipos de pan pueden ser divididos en cuatro categorías:

- a. Pan de molde: Esto es, productos basados en colocar una pieza de masa en un molde de metal para las etapas de fermentación y horneado. Comúnmente, el molde podrá ser rectangular o redondo. A veces, el molde puede tener separada la tapa y ser ajustado para un mejor control de la forma del producto, Por ejemplo, los panes de molde, panes *coburgs*, panecillos o bollitos de leche y panes de malta.
- b. Panes libres de expansión: Este se produce cuando la masa del producto es fermentada y horneada sin la ayuda de un molde para constreñir o apoyar los lados de la masa. Se llega a un producto con mejor corteza. Por ejemplo, se tiene los panes conocidos como *bloomers*.
- c. Baguettes, panes *parisien* y otros productos hechos como largos y en forma de ramas. Algunas veces eran colocados intencionalmente en bandejas para el fermentado y horneado. Típicamente, estos productos deberán tener un alto grado de formación de corteza y líneas marcadas características sobre la superficie.
- d. Panecillos y otros panes pequeños fermentados, horneados en bandejas o sobre moldes. Estos productos deberán tener un mayor nivel de azúcar y grasa en la receta y así, típicamente tendrán un sabor azucarado y una textura más suave al paladar.

2.1.3. CONTENIDO PROTEICO DEL PAN

Karmas y Harris (1988) afirman que si bien el horneado en la panificación causa destrucción de algunos nutrientes, especialmente de los aminoácidos básicos (lisina) y de las vitaminas hidrosolubles (en general, las menos estables son la tiamina, el ácido fólico, el ácido pantoténico y la vitamina C), pueden también mejorar la absorción y utilización de otros nutrientes a través de la inactivación y destrucción de los antinutrientes (por ejemplo: inhibidores de amilasa y proteasa) y de los microorganismos indeseables así como de los complejos (particularmente, se encuentran los fitatos, fibras, proteínas, y algunos minerales como probables causantes de éstos).

Además, el efecto del horneado sobre las grasas y carbohidratos está relacionado generalmente a su hidrólisis. Por ejemplo, el horneado gelatiniza el almidón e incrementa la digestibilidad. La participación de compuestos simples e hidrolizados complejos en la reacción de Maillard, afectan adversamente la disponibilidad en el contenido de carbohidratos de los productos de panificación. En condiciones extremas de horneado, el ácido linoleico y otros ácidos grasos pueden producir hidroperóxidos inestables (debido a la actividad lipooxigenasa) la cual puede afectar la calidad lipídica y vitamínica del producto (Karmas y Harris, 1988).

2.1.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS INGREDIENTES PRINCIPALES EMPLEADOS EN LA PANIFICACIÓN

Los principales ingredientes usados en la panificación cumplen con las funciones detalladas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Principales ingredientes empleados en la panificación

Ingredientes	Función	Descripción
Harina	Estructura ¹	<ol style="list-style-type: none">1. Proteína (gliadina + glutenina) + agua, forma material viscoelástico (gluten).¹2. Almidón + agua + calor, forma una pasta viscosa que gelatiniza después del horneado.¹ Durante el almacenamiento, el almidón se cristaliza (retrogradación) y contribuye a la firmeza del pan (en gran medida causa el envejecimiento).¹3. Contenido de proteína en la harina de pan: 11-13 por ciento (sobre la base de 14 por ciento de humedad).¹
Agua	Hidratación ¹	<ol style="list-style-type: none">1. Hidrata la proteína para formar gluten.¹2. Hidrata pentosanos (polisacáridos de la pared celular de la harina no amilácea) y gránulos de almidón dañados.¹3. Solvente, agente dispersante y medio para las reacciones químicas y bioquímicas.¹4. Ayuda al desplazamiento de la masa.¹
Levadura	Leudante ¹	<ol style="list-style-type: none">1. Produce CO₂ y etanol por fermentación de azúcares fermentescibles.¹2. Acondiciona la masa bioquímicamente.¹3. Forma precursores del aroma.¹4. La velocidad de la fermentación es controlada por la temperatura, disponibilidad de nutrientes nivel de agua, pH, concentración de azúcar, sal y el nivel de levadura.¹

«Continuación»

Sal	Potenciador del sabor ¹	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ayuda a controlar la fermentación.¹ 2. Endurece la masa por interacción con el gluten.¹ 3. Extiende el tiempo de desarrollo de la masa (la adición posterior en la masa disminuye el tiempo de amasado entre 10 a 20 por ciento).¹ 4. Sabor.²
Azúcar	Fuente de energía de la levadura ¹	<ol style="list-style-type: none"> 1. Carbohidratos fermentescibles.¹ 2. Sabor, azúcares residuales, subproductos de la fermentación, compuestos de tipo Maillard durante el horneado. ¹ 3. Color de la costra; resultado de la caramelización (azúcar + calor) y pardeamiento no enzimático (azúcar reductor + aminoácidos). ¹
Grasa (shortening) ³	Lubricante ¹	<ol style="list-style-type: none"> 1. Facilita la expansión de células de gas en la masa.¹ 2. Lubrica y favorece el corte de panes.¹ 3. Extiende la vida útil.¹ 4. Suaviza la costra.

FUENTE: ¹Doerry (1995) citado por Hui *et al.* (2006), ²Hoseney (1991).

³Se define como cualquier grasa sólida, hidrogenada, usualmente blanca e insípida, que ha sido especialmente formulada para panificación. Por lo general, consiste en 100 por ciento pura grasa y puede ser producido a partir de aceites vegetales, grasa animal ambos. Se caracteriza por no afectar el sabor ni el olor de los productos obtenidos.

2.1.5. EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PAN

De acuerdo con Hui *et al.* (2006), además de la simple medida de perfiles sensoriales de los productos, la base para la calidad sensorial de los productos de la panificación debería radicar en un activo diseño de los atributos sensoriales encontrados en los productos más atractivos para los consumidores. Por ejemplo, el pan debe tener un color característico, un aroma a cereal y terroso, un sabor a cereal, astringente y terroso, una textura jugosa al paladar y elástica, comprensible y deformable al tacto.

Por ende, se efectúa una prueba de preferencia ampliada donde se evalúan una serie de características tales como apariencia externa, color, volumen, textura, sabor y aceptación general. La característica de aceptación general es consecuencia de la evaluación del conjunto de las demás características y muestra la predisposición del consumidor a adquirir el producto.

No obstante, Stone y Sidel (2004) establecen que en las pruebas de preferencia ampliada de alimentos y bebidas habrá una interacción sensorial considerable debido a la interferencia del sabor de un producto hacia otro. Esto puede ser una deficiencia para la prueba de preferencia donde la presentación simultánea de productos, es decir, uno al lado de otro, es el modelo más convencional. Además, la memoria puede ser una variable que produzca confusión, si una presentación secuencial es seleccionada para esta prueba.

Las escalas ordinales utilizan números o palabras organizadas desde «alto» a «baja», desde «más» a «menos», etcétera, con respecto a algún atributo de un producto dado. Las categorías en una escala ordinal no son intercambiables. No se hacen suposiciones sobre la distancia entre las categorías o de la magnitud del atributo representado por una categoría. El ranking es una de las escalas ordinales más comúnmente usadas. El procedimiento más directo es tener a los encuestados ordenando un conjunto de productos de manera que cada producto exitoso tenga más (o menos) de un atributo. Las pruebas de preferencia corresponden a un uso especial de la prueba de ordenamiento o ranking (Stone y Sidel, 2004).

En cuanto a las características, Hui *et al.* (2006) afirma que para el consumidor, los atributos claves del pan son el sabor y la textura. A parte de los principales componentes tales como harina, azúcar, levadura y sal, los otros ingredientes del pan influyen muy poco el sabor. La mayoría del sabor se desarrolla a partir de las materias primas durante el procesamiento de la masa y el horneado. El sabor del pan se forma en el procesamiento a través de reacciones de oxidación, enzimáticas, no enzimáticas y térmicas.

El sabor del cereal está formado por una combinación de compuestos volátiles y fenólicos, aminoácidos y péptidos, azúcares, ácidos grasos, y sus cantidades relativas influyen significativamente la percepción del sabor. El sabor del grano nativo es suave, pero por bioprocesamiento (tales como fermentación, masa ácida, germinación y tratamiento enzimático), extrusión, fraccionamiento por molienda, el sabor del cereal puede ser modificado como se desea. Además del contenido de fibra y compuestos bioactivos, los beneficios para la salud de los productos de grano entero deben también ser agradables para ser atractivos hacia los consumidores Hui *et al.* (2006).

Los compuestos de sabor del pan más importantes son producidos durante el horneado, cuando las reacciones térmicas tienen lugar, tales como la reacción de Maillard y de caramelización. Las reacciones enzimáticas y la fermentación influyen el sabor de la miga de pan, mientras que las reacciones térmicas afectan el sabor de la costra del pan. Como resultado, la costra y la miga del pan tienen diferentes propiedades del sabor (Schieberle y Grosch., 1985, 1994; Kirchoff y Schieberle, 2001 citado por Hui *et al.*, 2006).

En este sentido, Kulp y Lorenz (2003) afirman que existen más de 100 compuestos químicos que le dan sabor y que han sido identificados en el pan; la mayoría de ellos presentes en cantidades menores e incluyendo alcoholes superiores, aldehídos, ácidos alcanos y ésteres.

Los factores tales como el nivel de la levadura, el tiempo y la temperatura de fermentación afectan los niveles de los compuestos que otorgan sabor al pan.

El sabor final es producido en un proceso que pasa por dos etapas. Los componentes primarios son sintetizados durante la fermentación. Sin embargo, debido a que la última fase de la elaboración del pan es horneado, muchos de los productos de fermentación, especialmente los compuestos volátiles, se evaporan o se modifican una vez más por la alta temperatura del horno. Sin embargo, los compuestos volátiles no se han perdido en su totalidad debido a que la masa se calienta desde el exterior; los compuestos volátiles tienden a estar concentrados en el interior de la miga del pan cuando la cocción avanza. Por ejemplo, un pan recién horneado puede contener hasta un 0,5 por ciento de etanol (peso de la harina), a pesar del hecho de que su temperatura interna está muy por encima del punto de ebullición del etanol. La más importante modificación del sabor se produce como resultado de la reacción de Maillard, entre los grupos hidroxilo de los carbohidratos con los aminoácidos o péptidos cortos, derivados de la proteína de harina (Kulp y Lorenz 2003).

2.2. QUINUA

2.2.1. GENERALIDADES

La quinua (*Chenopodium quinoa willd.*) quinua es un grano alimenticio que se cultiva ampliamente en la región andina, desde Colombia hasta el norte de Argentina, en la franja altitudinal más alta a 2500 -4300 metros sobre el nivel del mar. Pertenece a la familia Chenopodiaceae, tiene como centro de origen la región de los Andes, en la cual, durante miles de años fue el principal alimento de las culturas antiguas de los Andes y que está distribuida en diferentes zonas agroecológicas de la región. En la actualidad la quinua se encuentra en franco proceso de expansión porque representa un gran potencial para mejorar las condiciones de vida de la población de los Andes y del mundo moderno. La producción de quinua es vital para la seguridad alimentaria y la economía de las comunidades campesinas del Altiplano peruano-boliviano, como también en los valles interandinos de Ecuador y Colombia (FAO, 2011).

2.2.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

La clasificación taxonómica se detalla a continuación, según Aellen y Just, citados por Mujica (2000):

- Reino: Vegetal
- Sub reino: Phanerogamae
- Clase: Dicotiledoneas
- Subclase: Angiospermas
- Orden: Centrospermales
- Familia: Quenopodiaceas
- Género: Chenopodium
- Especie: chenopodium quinua willd
- Nombre común: “quinua”, “quinoa”

2.2.3. ASPECTOS AGRONÓMICOS

La quinua es una planta anual, dicotiledónea, cuyo periodo vegetativo varia de 150 a 240 días; alcanza una altura de 0,2 a 3,0 m. Se adapta muy bien a diferentes condiciones ambientales y por eso se puede cultivar desde los 0 hasta los 4000 metros sobre el nivel del mar (Repo Carrasco, 1998). El color de la planta antes de la floración puede ser verde, purpura, mixtura o rojo, el cual cambia cuando la planta alcanza su madurez fisiológica, mostrando varios colores intermedios entre blanco, crema, amarillo, anaranjado, rosado, rojo, púrpura, café y negro (Rojas *et al.*,2001 en FAO, 2011).

La semilla de quinua es el fruto maduro de forma lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal. Presenta tres partes bien definidas que son: epispermo, embrión y perisperma (Mujica, 1993; citado por Repo-Carrasco, 1998).

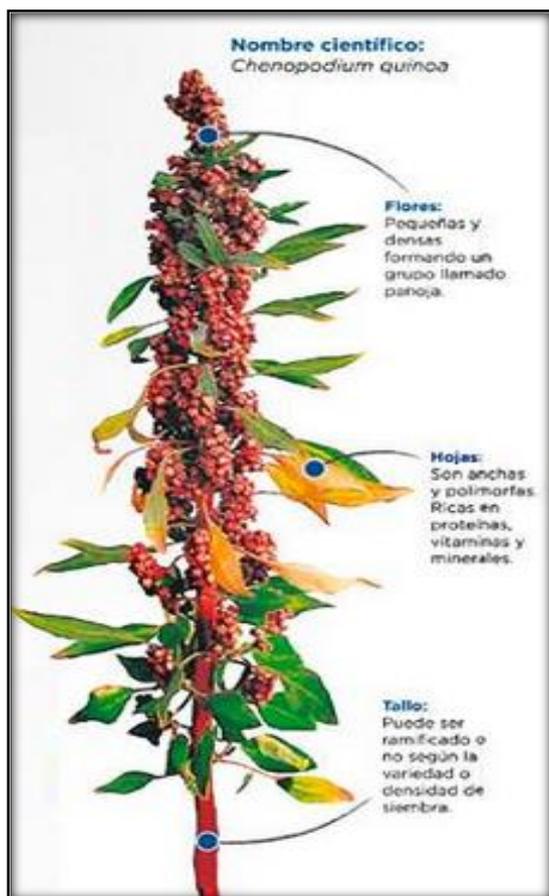


Figura 1. Descripción de la planta de quinua

FUENTE: SENASA (2015)



Figura 2. Plantaciones de quinua – Cajamarca

FUENTE: Gobierno Regional de Cajamarca (2015)

2.2.4. DIVERSIDAD GENÉTICA Y VARIEDADES

La región andina es considerada como uno de los ocho centros de origen y de diversidad de los cultivos. Es el lugar donde existe la mayor diversidad genética de quinua tanto silvestre como cultivada que todavía se pueden encontrar en condiciones naturales y en campos de cultivo de los agricultores andino (FAO, 2011).

Entre los cultivos andinos, la quinua recibió la mayor dedicación y apoyo principalmente en Ecuador, Perú y Bolivia. Las evaluaciones de la variabilidad genética disponible permitió agrupar a la quinua en cinco grupos mayores según sus características de adaptación y algunas morfológicas de alta heredabilidad, fácilmente detectables y capaces de mantenerse en toda el área de difusión (FAO, 2011).

A continuación se describen las cinco categorías de quinua de acuerdo a Repo-Carrasco (1992):

- a. Quinua del Valle: crecen en valles interandinos entre los 2000 y 3600 m.s.n.m. Son quinuas de gran tamaño, ramificadas y tienen un largo periodo de crecimiento.
- b. Quinuas altiplánicas: crecen alrededor del lago Titicaca. Son resistentes a las heladas, de poca altura, carecen de ramas y en un corto período de crecimiento.
- c. Quinuas de terrenos salinos: crecen en las llanuras del altiplano boliviano. Soportan terrenos salinos y alcalinos. Tiene semillas magras con alto contenido proteico. La quinua Real de Bolivia es una de éstas, y es conocida por sus semillas blancas y de tamaño grande; es muy cotizada en el mercado internacional.
- d. Quinua del nivel del mar: encontradas en el sur de Chile, tiene semillas de color amarillo y amarga.

e. Quinoa subtropical: crecen en valles interandinos de Bolivia: tienen semillas pequeñas de color blanco o anaranjado. Las variedades de mayor difusión son: Sajam, Kancolla, Blanca de Juli, Cheweca, Witulla, Quillahuaman-INIAA.

Los países de Perú y Bolivia tienen las mayores colecciones de diferentes variedades de quinua, contando cada uno con más de 2000 ecotipos. Las variedades más difundidas son Kancolla, Blanca de Junín (seleccionada en el Perú en 1950) y Sajama (seleccionada en Bolivia en 1960) (Repo-Carrasco, 1992).

En Perú se reportan 28 variedades obtenidas por mejoramiento genético a través de hibridaciones o selección: Amarilla Maranganí, Kancolla, Blanca de Juli, Cheweca, Witulla, Salcedo-INIA, Ipla-INIA, Quillahuaman-INIA, Camacani I, Camacani II, Huariponcho, Chullpi, Roja de Coporaque, Ayacuchana-INIA, Huancayo, Hualhuas, Mantaro, Huactazas, Namora, Tahuaco, Yocará, Wilacayuni, Pacus, Rosada de Junín, Acostambo y Blanca Ayacuchana (Mujica *et al.*, 2004, 1992; en FAO, 2011).

2.2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL DE LA QUINUA

La quinua es un grano andino que contiene un valor económico prometedor. Se ha identificado como un grano que se adapta mejor al estrés ambiental. El principal mérito de la quinua es que el grano, las hojas, así como las inflorescencias son fuentes de proteínas de muy buena calidad. La calidad nutricional del grano es importante por su contenido y calidad proteínica, siendo rico en los aminoácidos lisina y azufrados, mientras que, por el contrario, las proteínas de los cereales son deficientes en estos aminoácidos (Huamán, 2011).

En el Cuadro 2, se presenta la composición química de la quinua, según el Centro Nacional de Evaluación y Nutrición (1993). Se puede encontrar una gran variación dependiendo de su ecotipo, variedad, madurez biológica, localización del cultivo y composición del suelo (Huamán, 2011).

Cuadro 2. Composición de semillas de quinua, valores máximos y mínimos

Componente	g/100g
Proteína	11 – 21
Grasa	5,3 – 8,4
Carbohidratos	53,5 – 74,3
Fibra	2,1 – 4,9
Ceniza	3,0 – 3,6
Humedad	9,4 – 13,6

FUENTE: Centro Nacional de Alimentación y Nutrición – CENAN (1993)

La elevada tasa proteica de la quinua, originaria del Perú, es reconocida mundialmente por especialistas agrónomos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), así como otras organizaciones agrarias internacionales (Carrera, 1995).

Cardozo y Tapia (1979), afirman que el grano de quinua no es un alimento excepcionalmente alto en proteínas, aunque supera en este nutriente a los cereales más importantes. El verdadero valor de la quinua está en la calidad de su proteína, es decir, en la combinación de una mayor proporción de aminoácidos esenciales para la alimentación humana, que le otorga un alto valor biológico.

Además de la calidad de la proteína, la quinua posee importantes contenidos de minerales y vitaminas (Gorbitz y De la Fuente; citado por Vargas, 1977).

La grasa de la quinua no ha sido estudiada suficientemente; sin embargo, su contenido es alto y se reconoce que, a esto se le atribuye su lenta digestión (Tapia *et al.* 1979).

En cuanto a los minerales Tapia *et al.* (1979), indica que la quinua posee valores medios de calcio y hierro, destacándose los contenidos de potasio y fósforo que representa hasta un 65 por ciento el contenido total de cenizas.

La fibra dietaria está compuesta de las fracciones solubles e insolubles. La fibra dietaria insoluble contiene: Celulosa, algunas hemicelulosas y lignina, mientras que la fibra dietaria soluble contiene: gomas, pectinas y partes solubles de hemicelulosas (Ruales *et al.*, 1994).

La fibra soluble es importante por los beneficios que aporta en el proceso de digestión, por su capacidad para absorber agua, captar iones, absorber compuestos orgánicos y formar geles, el Cuadro 3 nos detalla el contenido de fibra soluble y la fibra dietética total presentes en la quinua.

Cuadro 3: Contenido de fibra insoluble, soluble y fibra dietética total (FDT) en quinua (g/100g)

Muestra	Fibra Insoluble	Fibra Soluble	FDT
Quinua	5,31	2,49	7,8

FUENTE: Repo-Carrasco (1992)

En cuanto a los componentes antinutricionales la quinua posee saponinas, ácido fítico, taninos y tripsina. En gran medida saponinas como se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Contenido de antinutrientes en quinua

Grano	Saponinas (mg/g)	Ácido fítico (mg/g)	Taninos (%)	Tripsina (ppm)
Quinua	9,0 – 21,0	10	0,5	1,4 – 5,0

FUENTE: Ahamed *et al.* (1998)

a. PROTEÍNAS DEL GRANO DE QUINUA

La gran ventaja nutritiva de la quinua está en la calidad de sus proteínas, en la clase de aminoácidos que la componen, se ha comprobado la evidencia científica que todos los aminoácidos componentes de una proteína particular deben estar presentes en los tejidos antes de la síntesis. Estudios realizados por Guzmán, mencionado por Molina (1972), muestran la determinación de aminoácidos de la quinua y otros alimentos, encontrando que la quinua tenía cantidades satisfactorias de histidina, arginina, triptófano, tirosina y lisina.

Según datos biológicos sobre proteínas y contenido de aminoácidos de la FAO (1970), la quinua contiene más isoleucina, lisina, fenilalanina, tirosina y valina por unidad de nitrógeno que los cereales. Posee aproximadamente 50 por ciento más de lisina y 25 por ciento más de metionina que el trigo.

La cocción de la quinua en agua no disminuye el contenido de aminoácidos, al contrario su valor biológico se incrementa en valores de eficiencia alimenticia, la quinua cruda es 12 por ciento más eficiente que la harina de trigo y la cocida es de 18 por ciento en valores de coeficiente de eficiencia proteica (CEP), la quinua cocida tuvo valores similares que la caseína pero la no cocida fue 33 por ciento más baja (Carrera, 1995).

La eficiencia del nitrógeno para el crecimiento (ENC) de la quinua no cocida es similar al de la caseína, mientras que la cocida tuvo un ENC 25 por ciento más alto que la caseína. El calentamiento en seco (horno) produce una disminución del 40 por ciento de metionina, 7 por ciento de la lisina y 20 por ciento de triptófano (IIAI, 1977).

Tellería (1977), mencionado por Scarpati y Briceño (1980), efectuó una extracción fraccionada de la proteína de cuatro variedades de quinua, encontrando que las globulinas constituyen la principal fracción en todas las muestras estudiadas variando entre 20 y 45 por ciento, seguidas por las albúminas con 2,9 a 4,5 por ciento y las prolaminas entre 0,5 por ciento a 8 por ciento de la proteína bruta.

2.2.6. PRODUCCIÓN DE HARINA DE QUINUA Y SUS PROPIEDADES

Debido a su pequeño tamaño, la quinua por lo general se muele para harina integral, después de la eliminación de las saponinas, ya sea por lavado o molienda abrasiva.

Como las saponinas se concentran en los cascós, su contenido se puede minimizar por el descascarado de las semillas (descascarado abrasivo tangencial) (Reichert *et al.*, 1986).

Becker y Hanners (1990) molieron quinua utilizando un molino de piedra y encontraron que 33-40 por ciento de la semilla se puede extraer como una fracción de salvado, lo que indica una alta abrasión (Becker y Hanners, 1990). Sin embargo, no solo la fracción de salvado contiene una cantidad mayor de nutrientes que el perisperma, sino también contiene una mayor cantidad de saponinas.

La producción de diferentes fracciones de harina de quinua se puede obtener utilizando el mismo equipo utilizado también para el amaranto (Nanka, 1998). Por otra parte, en la quinua, la técnica de combinación de molino de rodillos y el plansifter (tiene una gran superficie de cribado) permite una mejor separación entre el almidón rico en harina, harinillas de fracciones, y fracciones de sémola rico en proteínas. Por último, las fracciones de harinilla muestran un mayor contenido de almidón que los de la fracción de harina.

2.3. ALMIDÓN DE PAPA

El almidón es el polisacárido de reserva más importante y es el componente más abundante en muchas plantas. El almidón se diferencia de todos los demás carbohidratos en que en la naturaleza se presenta como complejas partículas discretas (gránulos). Los gránulos de almidón son relativamente densos e insolubles, y se hidratan muy mal en agua fría. El almidón tiene algunas propiedades únicas que determinan su funcionalidad en las aplicaciones de muchos alimentos, en productos de panadería especialmente cuando contribuyen a la textura, apariencia y aceptabilidad de productos a base de cereales (Ward y Andon, 2002).

La mayoría de los gránulos de almidón están compuestos por una mezcla de amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal, de unidades de α -D glucopiranosilo unidas por enlaces (1 \rightarrow 4), con un grado de polimerización en el intervalo de 500 - 600 residuos de glucosa. En contraste, la amilopectina es una molécula muy grande y altamente ramificada, con un grado de polimerización que oscila entre 3×10^5 a 3×10^6 unidades de glucosa. La amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol: las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D (1 \rightarrow 6), localizadas cada 15 – 25 unidades lineales de glucosa (Belitz *et al.*, 2009).

La proporción de amilosa / amilopectina difiere entre los almidones, pero los niveles típicos de amilosa y amilopectina son 25-28 por ciento y 72-75 por ciento, respectivamente (Goesaert *et al.*, 2005).

2.3.1. FUNCIÓN EN LA PANIFICACIÓN

Durante la preparación de la masa para panificación, el almidón absorbe aproximadamente el 45 por ciento de agua y se considera que actúa como una carga inerte en la matriz continua de la masa (Bloksma, 1990). Por otro lado, Eliasson y Larsson (1993) describe la masa como una red bicontinua de proteínas y almidón. Hug-Iten *et al.* (2001), señala que en combinación de calor, la humedad y el tiempo durante el horneado, los gránulos de almidón gelatinizan (es decir, se hinchan y se solubilizan parcialmente), pero todavía mantienen su identidad granular.

El envejecimiento de los productos de panadería se percibe por el incremento de la firmeza de la miga y la pérdida de la frescura. El envejecimiento comienza tan pronto como el producto está terminado y empieza a enfriarse (Fennema, 2000). Según Eliasson y Larsson, (1993), al enfriarse los productos de panificación, la amilosa solubilizada forma una red continua, en el que los hinchados y deformados gránulos de almidón están incrustados y relacionados entre sí. Debido a su retrogradación rápida, la amilosa es un elemento estructural esencial del pan y es un factor determinante para el volumen inicial del pan.

La retrogradación de la amilosa, puede ser prácticamente completa en el momento en que el enfriamiento ha llegado a alcanzar la temperatura ambiente. La retrogradación de la amilopectina, requiere en primer lugar la asociación de sus ramas exteriores, y necesita para ello un tiempo mucho mayor que la de la amilosa; pero tiene un papel fundamental en el envejecimiento que se produce con el tiempo tras el enfriamiento del producto (Fennema, 2000).

Según Abdel-Aal, (2009), el almidón tiene un papel importante durante la cocción en el horno. Durante el horneado, la estructura de la miga se establece como un resultado de gelatinización del almidón que se encuentra para influir en el volumen de expansión de la masa y, finalmente, el volumen del pan y textura de la miga. Por lo tanto, las propiedades del almidón, tales como temperaturas de transición de gelatinización y viscosidad serían cruciales para determinar la textura y apariencia de los productos de panificación sin gluten.

2.4. HIDROCOLOIDES

2.4.1. GOMA XANTANO

Es un exopolisacárido, producido por bacterias del género *Xanthomonas campestris* (Jeans *et al.*, 1961; Rogovin *et al.*, 1961; Azuaje y Sanchez, 1999).

Es un heteropolisacárido en cuya molécula se han podido identificar: D-glucosa, que constituye la cadena principal y moléculas de D-manosa y D-glucorónico (Fennema, 2000). Las ramificaciones de la molécula de xantano y las características uniónicas debidas a los radicales ácido favorecen la separación de las cadenas y su hidratación, consiguiendo la solubilización total de la macromolécula.

El xantano es soluble en agua y leche en frío, teniendo un efecto espesante de características tixotrópicas y alta pseudoplasticidad (fluidifica al aplicarle una fuerza de

cizalla a causa de un progresivo alineamiento de las moléculas (Katzbauer, 1998; Cubero *et al.*, 2002).

Durante el reposo y hasta una cierta tensión cizallante se comporta como un medio sólido debido a su estructura matriz de microgel. Se le considera también un agente de control reológico en sistemas acuosos y como estabilizante de emulsiones y suspensiones (Espino, L., 2006).

La goma xantano es estable a un amplio rango de pH (se recomienda acidificar una vez se haya hecho la disolución de la goma xantano) y a la presencia de sales alcalinotérreas (Katzbauer, 1998). Su viscosidad está muy poco influenciada por la temperatura, ya que después de tratamientos térmicos, como esterilización o pasteurización, se recupera una vez enfriada (Espino, L., 2006).

Bajo ciertas condiciones la estabilidad térmica de la goma xantano contra la hidrólisis es superior a otros polímeros en general (Stokke, C., 1996).

Es sinérgica con la goma de garrofin, obteniéndose estructuras de gel elástico y muy cohesionado, y también con la goma guar, en este caso aumentando la viscosidad del producto (Espino, L., 2006).

Debido a sus excelentes propiedades reológicas, la goma Xantano tiene una amplia aplicación como agente homogeneizador, estabilizador, emulsificador y espesador en la industria alimenticia, cosmética, farmacéutica, química, papelera y textil (Cubero *et al.*, 2002; Kennedy *et al.*, 1984).

2.4.2. FUNCIÓN DE HIDROCOLOIDES EN PANIFICACIÓN

Los hidrocoloides son polímeros hidrófilos de origen vegetal, animal, microbiano, o sintético, material que generalmente contiene muchos grupos hidroxilo.

Son ampliamente utilizados para controlar las propiedades funcionales de los productos alimenticios (Williams y Phillips, 2000). Por lo general, se añaden a los productos que contienen almidón, debido a su efecto deseable sobre la aceptabilidad de los sistemas alimentarios. Los hidrocoloides han sido ampliamente utilizados como aditivos para: (i) mejorar la textura de los alimentos y características viscoelásticas (Armero y Collar, 1996a, 1996b), (ii) frenar la retrogradación de almidón (Davidou *et al.*, 1996.); (iv) la función en forma de grasa; (iii) actuar como sustitutos aglutinantes de agua; (v) se extienden a la calidad global de los productos durante el almacenamiento, y (vi) también funcionan como sustitutos de gluten en la formación de pan sin gluten (Toufeili *et al.*, 1994; Gurkin, 2002). Los hidrocoloides, debido a su alta capacidad de retención de agua, dan estabilidad a los productos que se someten a ciclos sucesivos de congelación-descongelación (Lee *et al.*, 2002).

También muestran buenas propiedades como sustitutos de las grasas en diferentes productos (Albert y Mittal, 2002). A pesar de que los hidrocoloides están a menudo presentes en concentraciones menos del 1 por ciento que puede tener una influencia significativa en la textura y propiedades organolépticas de los alimentos.

En la industria de la panificación, hidrocoloides son de creciente importancia como mejoradores, y varios estudios han llevado a cabo que muestran su potencial en esta zona.

2.4.3. HIDROCOLOIDES Y EL PAN SIN GLUTEN

La sustitución de gluten en panes presenta un importante reto tecnológico, puesto que el gluten es una proteína estructural esencial, que contribuye a la apariencia y estructura de la miga de muchos productos horneados. En los últimos años, ha habido creciente interés en la incorporación de los almidones, ingredientes lácteos y/o hidrocoloides en una base de harina sin gluten (arroz y harina de maíz), que podría imitar las propiedades viscoelásticas del gluten en la masa de pan, y por lo tanto resultan en una mejor estructura, sensación en la boca, aceptabilidad y vida útil de estos productos (Toufeili *et al.*, 1994.; Gallagher *et al.*, 2003, 2004a, 2004b;. Moore *et al.*, 2004, 2006; Ahlborn *et al.*, 2005.; McCarthy *et al.*, 2005).

Actualmente se estudian varios hidrocoloides para la producción de pan sin gluten de alta calidad, incluyendo hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), carboximetilcelulosa (CMC), metilcelulosa, betaglucano, goma de psyllium, goma de algarroba, goma guar y xantano.

El efecto global de un hidrocoloide en el pan de trigo o pan sin gluten, sin duda, depende de la fuente del hidrocoloide, su estructura química, proceso de extracción, modificación química, y la dosis de hidrocoloide en formulaciones de masa (Arendt y Dal Bello, 2008).

2.4.4. ENFERMEDAD CELÍACA

La enfermedad celiaca, también llamada enteropatía sensible al gluten, es una intolerancia permanente a las proteínas que se encuentran en el trigo, cebada, centeno, y posiblemente avena, lo que causa lesiones en la mucosidad y una deficiente absorción de nutrientes en individuos predispuestos genéticamente. Los factores desencadenantes son el almacenamiento de proteínas contenidas en estos cereales, ampliamente conocidos como "gluten" en el campo de la enfermedad celiaca. El tratamiento básico actual para ésta enfermedad es el estricto cumplimiento de una vida libre de gluten. La frecuencia de la enfermedad celíaca ha sido subestimada. Pero con el desarrollo de pruebas serológicas se está dejando en claro que la enfermedad celiaca es una de las intolerancias a alimentos más prevaleciente en muchas partes del mundo. Intensos estudios multidisciplinarios han contribuido al progreso sustancial en la comprensión y tratamiento de la enfermedad durante las dos últimas décadas. Debido a la complejidad de la enfermedad, muchos expertos en los campos de medicina, tecnología de alimentos, y leyes se han visto envueltos en la investigación de la enfermedad celíaca (Wieser, H. *et al.*, 2012).

2.5.1. EPIDEMIOLOGÍA Y GENÉTICA

En el pasado, la EC fue considerada un trastorno infantil poco común, con una frecuencia de 1 en 1 000-2 000 individuos. Sin embargo, la detección serológica moderna seguida de una biopsia intestinal, ha revelado que la EC es una de las intolerancias alimentarias más frecuentes en todo el mundo y puede ocurrir a cualquier edad.

La EC es más frecuente en Europa y regiones a las que los europeos han emigrado, incluyendo Australia y el Norte y Sur de América. Datos serológicos sugieren una alta prevalencia global que van desde 0,2 a 1 por ciento en muchas regiones geográficas.

Recientemente, la EC ha incrementado cada vez más en áreas del mundo en desarrollo, como el norte de África, Asia Central y la India.

La incidencia entre los familiares de primer grado se ha informado que es muy elevada (≈ 10 por ciento), y la tasa en los gemelos monocigóticos se ha informado que es ≈ 75 por ciento (Wieser, H. *et al.*, 2012).

2.5.2. CARACTERÍSTICAS CLÍNICAS

Numerosos síntomas son asociados con la EC y pueden ser divididos en funciones intestinales y extra-intestinales causados por la deficiente absorción de nutrientes esenciales. El aspecto clínico de la EC es altamente variable y puede variar desde asintomática a síntomas altamente identificados. En infantes, síntomas clásicos como la diarrea, distensión abdominal, vómitos, retraso en el desarrollo y la apatía aparece tras el destete y la introducción de cereales en la dieta. En niños y adolescentes la presentación clínica es usualmente menos obvia, con diarrea, pérdida de apetito, fatiga, anemia, corta estatura, y predomina la pubertad tardía. En adición a los síntomas clásicos, los adultos muestran mayores efectos de deficiencias de minerales y vitaminas, como la anemia, dolor en los huesos y fracturas, osteoporosis, defectos en los dientes, lesiones en la piel, ceguera e infertilidad (Wieser, H. *et al.*, 2012).

2.5.3. TERAPIA DE LA ENFERMEDAD CELÍACA

Después de que el diagnóstico de la EC ha sido establecida, el tratamiento permanente sería la adherencia de por vida a una dieta libre de gluten. La ingesta diaria de gluten debería ser menor a 20 mg. Los pacientes con la EC pueden consumir alimentos libres de gluten de dos categorías diferentes.

La primera de ella incluye un amplio rango de productos tales como carne de pescado, frutas y vegetales. Sin embargo estas personas deben estar alertas de numerosas compuestos alimenticios que contengan trazas de gluten tales como salsas, sopas instantáneas, mazamorras y embutidos. En la segunda categoría, los pacientes con EC pueden consumir alimentos libres de gluten. (Wieser, H. *et al.*, 2012).

2.5.4. PRODUCTOS ESPECIALES PARA DIETA DE CELÍACOS

Wieser, H. *et al.* (2012), menciona que una adherencia estricta de por vida es una adherencia a una dieta estricta libre de gluten a lo largo de la vida del paciente, esto significa que los productos a base de centeno, cebada, avena, y trigo tales como panes, cerveza pastas y productos horneados deben ser sustituidos por productos libre de gluten. Las materias primas usadas para elaborar estos productos alternativos son principalmente cereales no tóxicos para celíacos (por ejemplo el maíz y el arroz) y granos andinos (quinua y trigo sarraceno). Sin embargo muchos de los alimentos libres de gluten disponibles en el mercado son de baja calidad y exhiben una textura, palatabilidad y flavor pobres en comparación con los productos convencionales. El reemplazo del pan de trigo y la cerveza de cebada es uno de los aspectos más críticos de una dieta libre de gluten y un desafío para los tecnólogos de alimentos, los panaderos y los cerveceros.

La cualidad principal del pan a base de trigo es el resultado de las propiedades especiales de las proteínas de gluten (gluteninas y gliadinas) las que proveen a la harina de una alta capacidad de absorción de agua; a la masa de cohesividad, viscosidad, elasticidad y capacidad de retención de gas; y al pan con el volumen característico y una miga porosa. Es extremadamente difícil imitar todas estas propiedades deseadas. Usualmente los almidones y harinas de planta que no son tóxicas para enfermos celíacos (maíz, arroz y papa) son tomados como base para elaborar productos libres de gluten. Para imitar la capacidad de absorción de agua y la viscosidad de la masa de las proteínas de gluten, muchos hidrocoloides son recomendados. Los hidrocoloides son polímeros hidrofílicos que actúan como ligantes de agua, mejoran las propiedades reológicas y retrasa la retrogradación del almidón. Wieser, H. *et al.* (2012).

2.6. DISEÑO DE MEZCLAS

2.6.1. GENERALIDADES

En los experimentos con mezclas, los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla y, los niveles de dichos ingredientes no son independientes (Gutiérrez, 2012).

Existen muchos problemas reales y de investigación que involucran productos que resultan al mezclar diferentes componentes. Por ejemplo: bebidas, alimentos, medicamentos, cementos, etc., están formados por una mezcla de distintos ingredientes o componentes. En general, se supone que las características de calidad de la mezcla dependen de las proporciones con las que participan los ingredientes y no de la cantidad absoluta de ellos (Gutiérrez, 2012).

Entre los objetivos de un experimento con mezclas se encuentran:

- Determinar cuáles de los ingredientes de la mezcla o interacciones entre ellos tienen mayor influencia sobre una o varias respuestas de interés.
- Modelar las respuestas de interés en función de las proporciones de los componentes de la mezcla.
- Usar dichos modelos para determinar en qué porcentaje debe participar cada uno de los ingredientes para lograr que la fórmula tenga las propiedades deseadas.

Al planear un experimento con mezclas se decide, en función de lo que se conoce del problema y del objetivo, las mezclas que se probarán para que al analizar los resultados se logren responder las preguntas planteadas. Es decir, no se trata de producir las formulaciones que se le ocurran al experimentador y llevar a cabo una investigación a prueba y error, sino aplicar una metodología de planeación y análisis que asegure obtener conocimiento y soluciones (Gutiérrez, 2012).

En general, en un problema de experimentos con mezclas se tendrán componentes o ingredientes y cada tratamiento en el experimento consiste en una combinación particular o mezcla de dichos ingredientes (Gutiérrez, 2012).

Algunos diseños de tratamientos tienen dos o más factores que son ingredientes de una mezcla en la que los porcentajes de cada uno deben sumar el 100 por ciento de la mezcla. Por lo tanto, los niveles de un factor no son independientes de los niveles de otros. (Kuehl, 2001).

Según Montgomery (2002), en los experimentos de mezcla, los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla, y en consecuencia, sus niveles no son independientes. Por ejemplo, si X_1, X_2, \dots, X_p denota las proporciones de p componentes de una mezcla, entonces:

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

$$X_1 + X_2 + \dots + X_p = 1 \quad (\text{es decir, } 100\%) \quad (2)$$

Kuehl (2001), menciona que si la proporción de un ingrediente es $x_i = 1$, entonces no hay otros ingredientes presentes en la mezcla y el producto es una mezcla pura o de un componente.

Los valores coordinados para un diseño de mezcla con tres componentes son los valores encontrados en el plano definido por $X_1 + X_2 + X_3 = 1$ en la Figura 3a. La descripción geométrica del espacio de los factores para k componentes es la de un Símplex en $(k - 1)$ dimensiones. En la Figura 3b se muestra el sistema Símplex de dos dimensiones para una mezcla de tres componentes como un triángulo equilátero (Kuehl, 2001).

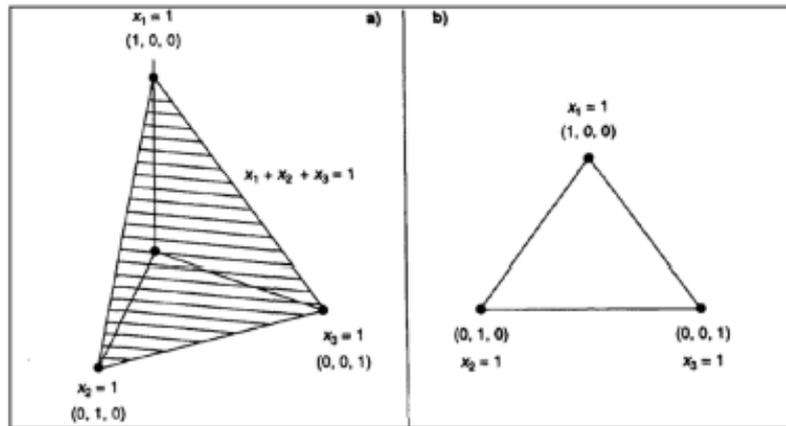


Figura 3. Espacio de los factores para a) una mezcla de tres componentes, b) un sistema Simplex de tres componentes.

FUENTE: Kuehl (2001).

2.7. EVALUACIÓN SENSORIAL

2.7.1. PRUEBAS AFECTIVAS

Las pruebas afectivas son usadas para evaluar la preferencia y/o aceptación de los productos. Son muy utilizadas para investigar la opinión del consumidor frente al producto. Por ende los jueces empleados son del tipo no entrenado. Tal es el caso de consumidores habituales y compradores del tipo de alimento en estudio (Anzaldúa-Morales, 1994).

a. PRUEBAS DE PREFERENCIA

Son aquellas que se aplican cuando se desea conocer si los panelistas prefieren una cierta muestra sobre otra. Esta prueba es similar a una prueba discriminatoria de comparación pareada simple, pero con la diferencia de que en una prueba de preferencia no se busca determinar si los panelistas pueden distinguir entre dos muestras, donde no importan sus gustos personales, si no que se quiere evaluar si realmente prefieren determinada muestra (Valdez, 2009).

La prueba es muy sencilla y consiste simplemente en pedirle al panelista que diga cuál de las dos muestras prefiere (Valdez, 2009).

Para la interpretación de los resultados se utiliza una tabla. En ella se localiza el número de panelistas y según el nivel de significancia escogido se ubica el número mínimo de respuestas coincidentes. Si el número obtenido es mayor o igual que el de la tabla, se podrá afirmar que existe una diferencia significativa en la preferencia de una muestra sobre la otra (Valdez, 2009).

a.1. PRUEBA DE PREFERENCIA AMPLIADA

La prueba de preferencia ampliada es una extensión o ampliación de la prueba de preferencia pareada, en la que tres o más muestras codificadas son presentadas simultáneamente y en cantidad suficiente para que el panelista pueda verificar su primera impresión. El total de muestras a evaluar depende de la atención y memoria del panelista y de las condiciones psicológicas y fisiológicas. En esta prueba se solicita al panelista que ordene las muestras de acuerdo a su preferencia en función a un determinado atributo o evaluando al alimento en forma íntegra (Valdez, 2009).

b. PRUEBAS DE GRADO DE SATISFACCIÓN

Las pruebas de grado de satisfacción se utilizan cuando se debe evaluar más de dos muestras a la vez o cuando se desea obtener mayor información acerca del producto. Para llevar a cabo estas pruebas se utilizan las escalas hedónicas. Las escalas hedónicas pueden ser verbales o gráficas, y la elección del tipo de escala depende de la edad de los jueces y del número de muestras a evaluar (Valdez, 2009).

Los valores numéricos obtenidos en estas pruebas pueden ser tratados como cualquier otra dimensión física y por tanto pueden ser graficados, promediados, sometidos a análisis estadísticos tales como : prueba “t” de student, prueba “F”, análisis de varianza, análisis de regresión, etc. (Valdez, 2009).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación fue realizada en el Laboratorio de Evaluación Sensorial y en el laboratorio de Fisicoquímica, instalaciones pertenecientes a la facultad de Industrias Alimentarias. También se llevó a cabo en el Programa de Cereales y Granos Andinos perteneciente a la facultad de Agronomía, ambas facultades pertenecientes a la Universidad Nacional Agraria La Molina.

La evaluación sensorial se realizó en la Asociación de Celíacos del Perú.

3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS

3.2.1. MATERIA PRIMA

- Harina de quinua cruda blanca, variedad Hualhuas (Huancayo).
- Almidón de papa, Aro®
- Agua

3.2.2. INSUMOS

- Goma Xantano, Montana®
- Azúcar rubia, Cartavio®
- Aceite vegetal, Primor®
- Levadura seca instantánea, Fleischmann®
- Sal yodada, Emsal®

3.2.3. MATERIALES Y EQUIPOS

- Caja de cartón
- Cuchillo
- Moldes de pan
- Cartulina negra
- Focos de luz
- Caja de tecknopor
- Bowl de acero inoxidable
- Granos de quinua blanca
- Balanza Analítica, marca Ohaus, N° 602207 850013. Italia.
- Cámara de fermentación
- Cámara de Luz
- Beaker de 500 mL.
- Probeta
- Batidora
- Horno eléctrico
- Higrómetro
- Cámara fotográfica
- Scanner

3.3. MÉTODO DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN

3.3.1. HARINA DE QUINUA

a. ANÁLISIS PROXIMAL

La humedad, contenido de proteína, grasa, fibra bruta y cenizas fueron determinados mediante los métodos AOAC 950.46, 928.08, 960.39, 962.09 y 923.03, respectivamente (AOAC, 2002).

3.3.2. ALMIDÓN DE PAPA

a. ANÁLISIS PROXIMAL

La humedad, contenido de proteína, grasa, fibra bruta y cenizas fueron determinados mediante los métodos AOAC 950.46, 928.08, 960.39, 962.09 y 923.03, respectivamente (AOAC, 2002).

3.3.3. PRODUCTO FINAL

a. ANÁLISIS PROXIMAL

La humedad, grasa, fibra bruta y cenizas fueron determinados mediante los métodos AOAC 950.46, 960.39, 962.09 y 923.03, respectivamente (AOAC, 2002).

b. VOLUMEN ESPECÍFICO

El volumen específico del pan fue determinado de acuerdo al procedimiento AACC-10.05. Después de 2 horas del horneado, se midió el volumen desplazado del pan elaborado con granos de quinua, entre el peso del producto final.

c. ESTRUCTURA ALVEOLAR

Se tomaron imágenes digitales de las rodajas de pan (15 mm de espesor), se utilizó un escáner (HP Scanjet G3010, Palo Alto, EE.UU.), con una resolución de 600 dpi. Las imágenes se analizaron utilizando el software Image J 1.45s (National Institutes of Health, USA). La binarización de las imagen se llevó a cabo de acuerdo con la técnica propuesta por Ribotta *et al.* (2010). Se determinó el área celular media (mm²) y el número de alveolos/mm².

d. CONTENIDO PROTEICO

Se analizó el contenido proteico de los panes libres de gluten a partir de quinua, es decir, la cantidad de proteína existente en cada 100 gramos del producto final mediante el método Kjeldhal indicado en AOAC – 928.08 (AOAC, 2002).

e. EVALUACIÓN SENSORIAL

Las tres mejores formulaciones, obtenidas con el programa Design Expert ® -9.0.0 v., se caracterizaron sensorialmente mediante dos pruebas afectivas: siendo la primera una prueba de preferencia ampliada en la que tres de las mejores formulaciones de pan obtenidas fueron presentadas simultáneamente siguiendo la metodología descrita por Watts *et al.* (1982) y la segunda, una prueba de grado de satisfacción para cada una de estas tres mejores formulaciones de pan siguiendo la metodología descrita por Pedrero y Pangborn (1996).

Se trabajó con un panel no entrenado (42 personas), conformado por asistentes del Curso - Taller en Preparaciones libres de gluten para celíacos organizada el 02 de abril del 2014 por la Asociación de Celíacos del Perú.

Para esta evaluación se utilizaron dos formatos, uno para la prueba de preferencia ampliada (Anexo 1) y el segundo para la prueba de grado de satisfacción (Anexo 2).

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1. ELABORACIÓN DE PAN

La formulación utilizada para la elaboración de panes libres de gluten se presenta en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Formulación para la elaboración de panes libres de gluten

Ingredientes	Porcentaje (%)
Harina de quinua (HQ)	10-40 %
Almidón de papa (AL)	20-50 %
Agua (A)	40-50 %
Goma xantano	0,5% (HQ+AL)
Sal	2% (HQ+AL)
Azúcar	3% (HQ+AL)
Levadura	3% (HQ+AL)
Aceite	6% (HQ+AL)

Considerando la metodología propuesta por Cornell (2002) para el caso de los 3 componentes principales, se aplicó el diseño de mezclas, con restricciones mínimas y máximas (Cuadro 6).

Los demás componentes se mantuvieron constantes en las proporciones: goma xantano (0,5 por ciento), sal (2 por ciento), levadura (3 por ciento), azúcar (3 por ciento), aceite vegetal (6 por ciento), todos los porcentajes fueron expresados en base a la suma de harina y almidón según Alvarez- Jubete *et al.* (2010).

El método de elaboración de los panes libres de gluten se desarrolló según Sciarini *et al.* (2012). Este método ha sido aplicado en diversas investigaciones para la elaboración de panes libres de gluten con diferentes ingredientes (Moore *et al.*, 2006; Moore y Arendt, 2007; Schober *et al.*, 2005; Renzetti *et al.*, 2007). La cual consiste en pesar los ingredientes, activar la levadura, mezclar los ingredientes con diferentes velocidades controladas, dividir en moldes con pesos iguales, fermentar o reposar y hornear. Los parámetros de tiempo y temperatura se muestran en el diagrama de flujo (Figura 4).

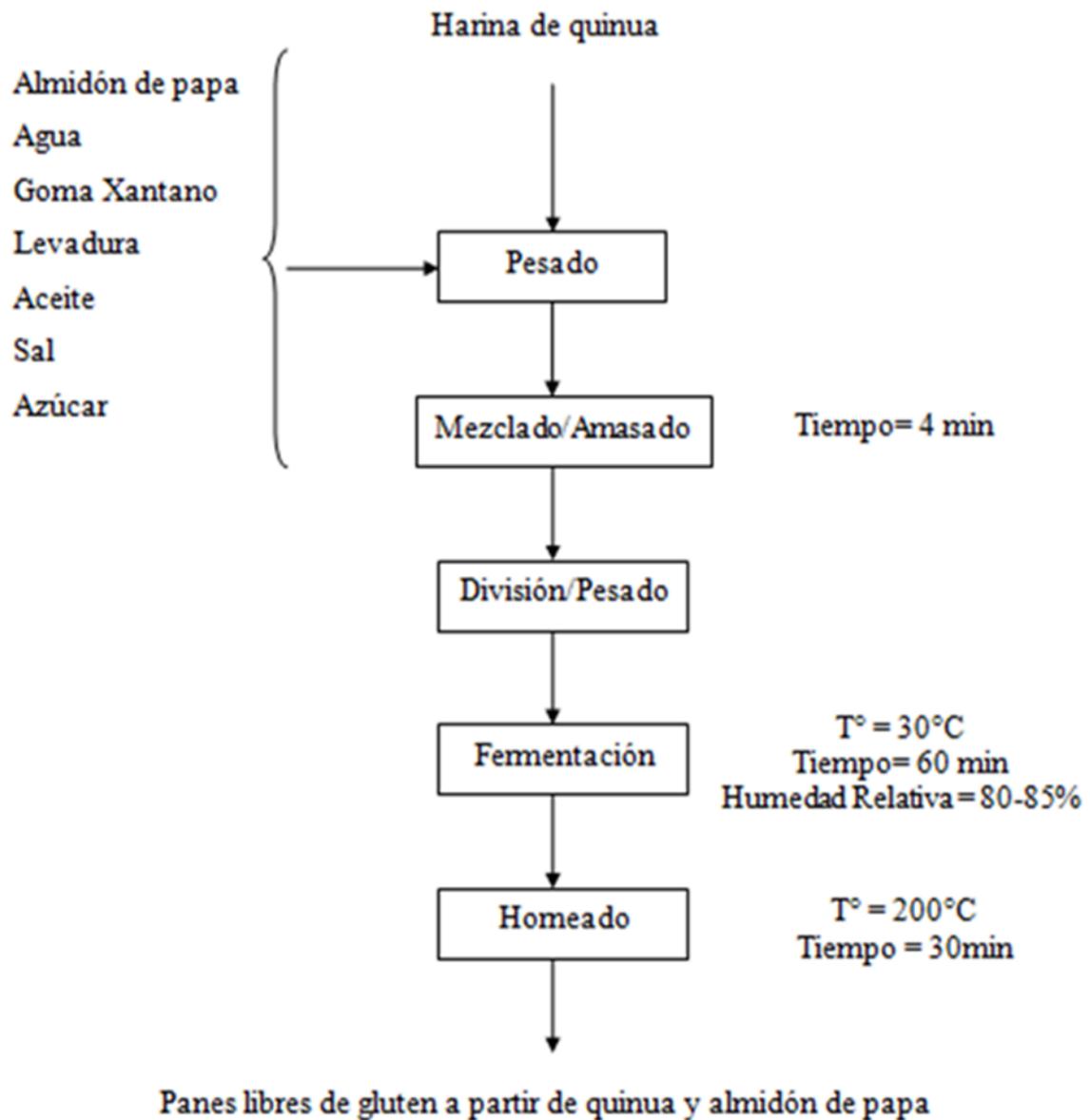


Figura 4: Flujo de operaciones para la elaboración de pan libre de gluten.

FUENTE: Adaptado de Sciarini *et al.* (2012).

a. PESADO

Se pesó cada insumo con la ayuda de una balanza de precisión: harina de quinua, almidón de papa, agua, sal, azúcar, goma xantano, levadura y aceite.

b. MEZCLADO/AMASADO

Se disolvió la levadura y el azúcar en una parte del agua total. En el tazón de la batidora, se mezcló los insumos secos, es decir, la harina, sal, almidón de papa, goma xantano y por último el aceite. Luego de obtener una mezcla uniforme, se agregó la levadura, azúcar y el agua restante. Se batió la mezcla por dos minutos a 156 rpm y luego dos minutos más a 214 rpm hasta obtener una masa homogénea.

c. DIVISIÓN/PESADO

Se dividió la masa homogénea en pesos iguales en tres moldes (aproximadamente 130 gramos de masa en cada molde).

d. FERMENTACIÓN

Se colocaron los moldes sobre las rejillas dentro de la cámara fermentadora acondicionada. Se dejó que las proporciones de masa se expandan por 60 minutos a 30°C a una humedad relativa de 80-85 por ciento.

e. HORNEADO

Se introdujeron los moldes que contienen la masa del pan, al horno a una temperatura de 200°C por 30 minutos, hasta que la cocción se dió completamente.

f. ENFRIADO

Se dejó enfriar por dos horas los panes horneados para proceder a las determinaciones volumétricas, de estructura y evaluación sensorial.



Figura 5: Etapa de fermentación de la masa de pan



Figura 6: Etapa de enfriado de los panes horneados

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Con la finalidad de evaluar el efecto simultáneo de la mezcla de 3 componentes que son la harina de quinua, el almidón de papa y el agua, sobre el volumen, la estructura y el contenido proteico en los panes libres de gluten, Considerando la metodología propuesta por Cornell (2002) para el caso de tres componentes, se aplicó un Diseño de Mezclas Axial, con restricciones mínimas y máximas sobre los mismos que se observan en el Cuadro 6, dichas restricciones sobre los ingredientes fueron tomados en cuenta según lo descrito por Sciarini (2012).

Posteriormente, considerando éstos límites, se aplicó el software estadístico Design-Expert 9.0®. Dicho software utiliza el criterio de ubicación de puntos experimentales dentro de un espacio factorial de mezclas conocido como optimalidad D (D-optimality). De esta manera el diseño experimental o grupo de mezclas consideradas para el presente trabajo de investigación fueron diecinueve; los porcentajes de los ingredientes principales de estas formulaciones se muestran en el Cuadro 7, mientras que los pesos totales de todos los componentes, se presentan el Cuadro 8.

Cabe señalar que las formulaciones F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F12 y F14 representaron los puntos experimentales con los cuales se estimaron los modelos matemáticos para cada respuesta; mientras que las repeticiones F11, F13, F15, F16, F17, F18 y F19 fueron utilizadas para una mejor estimación de la varianza del error (σ^2). La representación gráfica de éste diseño es presentada en la Figura 23 (Anexo8).

Cuadro 6: Restricciones sobre los ingredientes de la masa total

Límites en función de la masa total (%)
$10\% \leq \text{Harina de quinua} \leq 40\%$
$20\% \leq \text{Almidón de papa} \leq 50\%$
$40\% \leq \text{Agua} \leq 50\%$

FUENTE: Sciarini (2012).

Cuadro 7: Porcentaje de los ingredientes principales en las 19 formulaciones de la masa total de pan libre de gluten de quinua

Formulación	X ₁ Harina de quinua (%)	X ₂ Almidón de papa (%)	X ₃ Agua (%)
F1	10,01	49,99	40,00
F2	23,96	31,53	44,51
F3	15,69	42,21	42,09
F4	10,64	39,36	50,00
F5	24,04	25,96	50,00
F6	18,36	33,77	47,87
F7	22,67	32,67	44,67
F8	23,45	36,55	40,00
F9	39,99	20,01	40,00
F10	31,57	20,00	48,43
F11	10,01	49,99	40,00
F12	34,24	23,43	42,33
F13	22,67	32,67	44,67
F14	28,47	26,53	45,00
F15	23,45	36,55	40,00
F16	10,64	39,36	50,00
F17	39,99	20,01	40,00
F18	22,67	32,67	44,67
F19	31,57	20,00	48,43

Cuadro 8: Formulaciones de la masa total de pan libre de gluten de quinua

Formulaciones	Harina de quinua (g.)	Almidón (g.)	Agua (g.)	HQ+AL (g.)	Goma (g.)	Sal (g.)	Azúcar (g.)	Levadura (g.)	Aceite (g.)	TOTAL
F 1	42,52	212,48	170,00	255,00	1,28	5,10	7,65	7,65	15,30	461,98
F 2	101,85	134,00	189,15	235,85	1,18	4,72	7,08	7,08	14,15	459,20
F 3	66,70	179,41	178,89	246,11	1,23	4,92	7,38	7,38	14,77	460,69
F 4	45,20	167,30	212,50	212,50	1,06	4,25	6,38	6,38	12,75	455,81
F 5	102,18	110,32	212,50	212,50	1,06	4,25	6,38	6,38	12,75	455,81
F 6	78,05	143,53	203,43	221,57	1,11	4,43	6,65	6,65	13,29	457,13
F 7	96,33	138,83	189,83	235,17	1,18	4,70	7,06	7,06	14,11	459,10
F 8	99,68	155,32	170,00	255,00	1,28	5,10	7,65	7,65	15,30	461,98
F 9	169,96	85,04	170,00	255,00	1,28	5,10	7,65	7,65	15,30	461,98
F 10	134,17	85,00	205,83	219,17	1,10	4,38	6,57	6,57	13,15	456,78
F 11	42,52	212,48	170,00	255,00	1,28	5,10	7,65	7,65	15,30	461,98
F 12	145,52	99,58	179,91	245,09	1,23	4,90	7,35	7,35	14,71	460,54
F 13	96,33	138,83	189,83	235,17	1,18	4,70	7,06	7,06	14,11	459,10
F 14	121,00	112,75	191,25	233,75	1,17	4,67	7,01	7,01	14,02	458,89
F 15	99,68	155,32	170,00	255,00	1,28	5,10	7,65	7,65	15,30	461,98
F 16	45,20	167,30	212,50	212,50	1,06	4,25	6,38	6,38	12,75	455,81
F 17	169,96	85,04	170,00	255,00	1,28	5,10	7,65	7,65	15,30	461,98
F 18	96,33	138,83	189,83	235,17	1,18	4,70	7,06	7,06	14,11	459,10
F 19	134,17	85,00	205,83	219,17	1,10	4,38	6,57	6,57	13,15	456,78

*Los porcentajes de goma, sal, azúcar, levadura y aceite están en base a la suma de harina + almidón (HQ+AL).

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.6.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

Los resultados del análisis proximal de las materias primas representaron el promedio de tres repeticiones.

3.6.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE Y EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE EL VOLUMEN ESPECÍFICO, ESTRUCTURA Y CONTENIDO PROTEICO

Los resultados correspondientes a los análisis de volumen específico, estructura y contenido proteico fueron expresados como el promedio de las observaciones registradas en cada lote de pan libre de gluten de quinua (tres determinaciones o mediciones por cada formulación, a excepción del cálculo del contenido proteico que solo se realizó una determinación).

Con los resultados observados en las formulaciones experimentales, según el caso de la característica analizada (volumen específico, estructura y contenido proteico), se realizó un análisis de regresión múltiple (método de mínimos cuadrados), con la finalidad de obtener el polinomio canónico de Scheffé que describa la dependencia de dicha característica en función de los ingredientes bajo estudio (Cornell, 2002). La determinación de dicho polinomio; así como su respectivo análisis de varianza (ANVA) y prueba de significancia de coeficientes (nivel de significación $\alpha = 0,05$), fueron llevados a cabo mediante la utilización del programa estadístico Design-Expert 9.0.

En referencia al ANVA, éste consistió, de acuerdo a Cornell (2002), Aktas (2005), Gunawan *et al.* (2005) y Gao y Jiang (2005), en establecer la significancia estadística del modelo y coeficientes del mismo. La significancia estadística del modelo y de los coeficientes se estableció mediante la prueba F de Fisher, debiéndose registrar un valor de probabilidad F (Prob > F) menor a 0,05. Adicionalmente, la bondad de ajuste de la

ecuación de regresión a las observaciones experimentales fue establecida mediante el Coeficiente de determinación (R^2), y Coeficiente de determinación ajustado (R^2 adj), debiendo ser el valor de los mismos cercano a 1.

a. VOLUMEN ESPECÍFICO DEL PAN LIBRE DE GLUTEN

a.1. ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

Los valores promedio de volumen de los panes libres de gluten observados en las formulaciones experimentales fueron sometidos a una análisis de Regresión Múltiple (mínimos cuadrados), con la finalidad de obtener el Polinomio Canónico de Scheffé que describa la dependencia de dicha característica en función de los ingredientes bajo estudio (Cornell, 2002). Dicho polinomio correspondió ecuación polinomial (3) de primer grado:

$$\hat{y} = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad (3)$$

Donde:

\hat{y} = Volumen del pan libre de gluten (cm^3/gr).

b_1, b_2, b_3 : Coeficientes lineales.

x_1, x_2, x_3 : Porcentajes de harina de quinua, almidón de papa y agua, respectivamente, presentes en la masa principal (%).

Posteriormente, se realizaron el Análisis de Varianza y la Prueba de Significancia de los coeficientes del modelo estimado.

a.2. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE EL VOLUMEN ESPECÍFICO DEL PAN

Mediante la aplicación del programa estadístico Design Expert 9.0, se graficaron la superficie de respuesta (grafico tridimensional), el ploteo de contornos (gráfico

bidimensional), y el gráfico denominado “Trazos de Cox”, correspondientes al modelo de la Ecuación (3). El objetivo de los dos primeros gráficos fue brindar una visión panorámica de la variación del volumen específico en función de los ingredientes estudiados, mientras que con el tercero se pudo establecer el efecto que cada ingrediente ejerció sobre la característica bajo estudio. De esta forma, y de acuerdo a Cornell (2002), aquel ingrediente con un trazo Cox inclinado hacia la derecha o izquierda tuvo un efecto positivo o negativo, respectivamente, sobre el volumen específico del pan, siendo la mayor magnitud de dicho efecto conforme el grado de inclinación fue también mayor. Asimismo, aquel ingrediente con un trazo de Cox horizontal no tuvo influencia alguna sobre el volumen específico del pan, siendo clasificado como un ingrediente inactivo.

b. ESTRUCTURA ALVEOLAR DE LA MIGA DEL PAN LIBRE DE GLUTEN

b.1. ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

Los valores promedio de estructura alveolar observados en las formulaciones experimentales fueron sometidos a un análisis de Regresión Múltiple (mínimos cuadrados), con la finalidad de obtener el Polinomio Canónico de Scheffé que describa la dependencia de dicha característica en función de los ingredientes bajo estudio (Cornell, 2002). Dicho polinomio correspondió a la siguiente ecuación polinomial de primer grado:

$$\hat{y} = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad (4)$$

Donde:

\hat{y} = Estructura alveolar (alveolos/mm²).

b_1, b_2, b_3 : Coeficientes lineales.

x_1, x_2, x_3 : Porcentajes de harina de quinua, almidón de papa y agua, respectivamente, presentes en la masa principal (%).

Posteriormente, se realizaron el Análisis de Varianza y la Prueba de Significancia de los coeficientes del modelo estimado.

b.2. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE LA ESTRUCTURA ALVEOLAR DE LA MIGA DEL PAN DE GLUTEN

Al igual que para el caso del volumen específico del pan libre de gluten, se graficaron la superficie de respuesta (grafico tridimensional), el ploteo de contornos (gráfico bidimensional) y el gráfico denominado “Trazos de Cox”, correspondientes al modelo de la Ecuación (4). El objetivo de los dos primeros gráficos fue brindar una visión panorámica de la variación de la estructura alveolar en función de los ingredientes estudiados, mientras que con el tercero se pudo establecer el efecto que cada ingrediente ejerció sobre la característica bajo estudio. De esta forma, y de acuerdo a Cornell (2002), aquel ingrediente con un trazo Cox inclinado hacia la derecha o izquierda tuvo un efecto positivo o negativo, respectivamente, sobre la estructura alveolar de la miga del pan, siendo la mayor magnitud de dicho efecto conforme el grado de inclinación fue también mayor. Asimismo, aquel ingrediente con un trazo de Cox horizontal no tuvo influencia alguna sobre la estructura alveolar de la miga del pan, siendo clasificado como un ingrediente inactivo.

c. CONTENIDO PROTEICO DEL PAN LIBRE DE GLUTEN

c.1. ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

Los valores de contenido proteico calculados en las formulaciones experimentales fueron sometidos a un análisis de Regresión Múltiple (mínimos cuadrados), con la finalidad de obtener el Polinomio Canónico de Scheffé que describa la dependencia de dicha característica en función de los ingredientes bajo estudio (Cornell, 2002). Dicho polinomio correspondió a la siguiente ecuación polinomial de primer grado:

$$\hat{y} = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad (5)$$

Donde:

\hat{y} = Contenido Proteico (%).

b_1, b_2, b_3 : Coeficientes lineales.

x_1 , x_2 , x_3 : Porcentajes de harina de quinua, almidón de papa y agua, respectivamente, presentes en la masa principal (%).

Posteriormente, se realizaron el Análisis de Varianza y la Prueba de Significancia de los coeficientes del modelo estimado.

c.2. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE EL CONTENIDO PROTEICO DEL PAN DE GLUTEN

Se graficaron la superficie de respuesta (grafico tridimensional), el ploteo de contornos (grafico bidimensional) y el gráfico denominado “Trazos de Cox”, correspondientes al modelo de la Ecuación (5). El objetivo de los dos primeros gráficos fue brindar una visión panorámica de la variación del contenido proteico en función de los ingredientes estudiados, mientras que con el tercero se pudo establecer el efecto que cada ingrediente ejerció sobre la característica bajo estudio. De esta forma, y de acuerdo a Cornell (2002), aquel ingrediente con un trazo Cox inclinado hacia la derecha o izquierda tuvo un efecto positivo o negativo, respectivamente, sobre el contenido proteico del pan, siendo la mayor magnitud de dicho efecto conforme el grado de inclinación fue también mayor. Asimismo, aquel ingrediente con un trazo de Cox horizontal no tuvo influencia alguna sobre el contenido proteico del pan, siendo clasificado como un ingrediente inactivo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS INGREDIENTES PRINCIPALES

4.1.1. HARINA DE QUINUA

Los resultados obtenidos tras el análisis proximal de la harina de quinua se muestran en el cuadro 9.

Cuadro 9: Composición química proximal de la harina de quinua (base húmeda).

Componente	Porcentaje (%)
Humedad	10,11
Proteína	13,72
Grasa	7,24
Ceniza	2,29
Fibra cruda	2,69
Carbohidratos	63,95
TOTAL	100,00

Como se puede apreciar estos valores son cercanos a los resultados reportados por Repo-Carrasco (1992; Mujica *et al.*, 2006): humedad 12,21 por ciento, proteínas 12,68 por ciento, grasa 5,31 por ciento, fibra 3,5 por ciento, ceniza 2,57 por ciento y carbohidratos 63,73 por ciento.

El contenido graso obtenido en los resultados (7,24 por ciento) fue mayor en comparación con lo citado.

Según Chang y Morris (1990; citado por Astuhuamán, 2007), el contenido de fibra de los alimentos ha sido históricamente evaluado por el procedimiento de fibra cruda. En el estudio realizado Astuhuamán (2007) observa el contenido de fibra cruda en las cuatro variedades que se evaluaron: Blanca de Juli 1,78 por ciento, Kcancolla 2,75 por ciento, LaMolina89 2,92 por ciento y Sajama 1,74 por ciento; encontrándose el resultado de ésta investigación (harina blanca de Hualhuas) dentro del rango indicado.

4.1.2. ALMIDÓN DE PAPA

Los resultados del análisis proximal del almidón de papa se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10: Composición químico proximal del almidón de papa (base húmeda).

Componente	Porcentaje (%)
Humedad	19,32
Proteína	0,10
Grasa	0,10
Ceniza	0,25
Fibra	0,35
Carbohidratos	79,88
TOTAL	100,00

Con respecto a la cantidad de proteína encontrada en el almidón de papa, se puede apreciar que es cercano al valor reportado por Melian (2010) entre 0,12- 0,59 por ciento para almidones de diferentes variedades de papa.

Melian (2010) afirma que «un alto contenido de proteínas interfiere en las propiedades fisicoquímicas del gel de almidón, cambia su viscosidad característica, tiende a espumar y aparece el aroma a harina, lo cual es indeseable». En el almidón usado no se encontró estos defectos, debido a que el contenido de proteína es bajo.

Singh y Kaur (2009) mencionan que el almidón de papa es el de mayor pureza, por la gran presencia de carbohidratos. Lo cual se verificó en el almidón usado al tener una cantidad de 79,88 por ciento.

4.2. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INGREDIENTES SOBRE EL VOLUMEN ESPECÍFICO, ESTRUCTURA ALVEOLAR Y CONTENIDO PROTEICO

4.2.1. VOLUMEN ESPECÍFICO DE PANES LIBRES DE GLUTEN

a. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los valores observados y estimados del volumen específico correspondientes a cada una de las formulaciones de pan estudiadas, son presentadas en el Cuadro 11, asimismo la representación gráfica de estos valores son presentadas en la Figura 7.

Luego de someter los valores observados al análisis de regresión múltiple correspondiente, se obtuvo la siguiente ecuación polinomial de primer grado:

$$\hat{y} = 1,20x_1 + 2,37x_2 + 4,77x_3 \quad (6)$$

Donde \hat{y} representa el volumen específico de pan horneado estimado (cm^3/gr), mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de harina de quinua, almidón de papa y agua, respectivamente, presentes en la masa de pan.

Los resultados del ANVA de dicho modelo se muestran en el Cuadro 12.

Como se puede apreciar en dicho cuadro, el valor F calculado es alto (44,82) en comparación con el valor tabular $F_{(2,11,\alpha=0,05)} = 3,98$, e incluso con el valor tabular $F_{(2,11,\alpha=0,01)} = 7,21$, lo cual implica que el modelo es significativo, inclusive al 99 por ciento de nivel de confianza.

Adicionalmente, se puede afirmar que el experimento tuvo buena reproducibilidad, puesto que la suma de cuadrados del error puro es menor en comparación con la suma de cuadrados total. Al respecto, Cornell (2002) señala que esta interpretación es válida, ya que para la determinación de la suma de cuadrados del error puro se utilizan las repeticiones consideradas en el diseño experimental. Gunawan *et al.* (2005) proponen la misma interpretación para esta fuente de variabilidad.

Cuadro 11: Valores observados y estimados de volumen específico de las formulaciones experimentales del pan.

Formulación	X₁ Harina de quinua (%)	X₂ Almidón de papa (%)	X₃ Agua (%)	Volumen específico del pan Observado (y₁) (cm³/gr)	Volumen específico del pan Estimado (ŷ₁) (cm³/gr)
F1	10	50	40	2,40	3,21
F2	24	32	44	2,23	3,15
F3	16	42	42	2,35	3,19
F4	11	39	50	2,36	3,44
F5	24	26	50	2,18	3,29
F6	18	34	48	2,55	3,31
F7	23	33	45	2,19	3,20
F8	23	37	40	1,72	3,06
F9	40	20	40	1,26	2,86
F10	32	20	48	2,03	3,15
F11	10	50	40	2,36	3,21
F12	34	24	42	1,55	2,98
F13	23	33	45	2,17	3,20
F14	28	27	45	2,34	3,12
F15	23	37	40	1,71	3,06
F16	11	39	50	2,42	3,44
F17	40	20	40	1,24	2,86
F18	23	33	45	2,19	3,20
F19	32	20	48	2,05	3,15

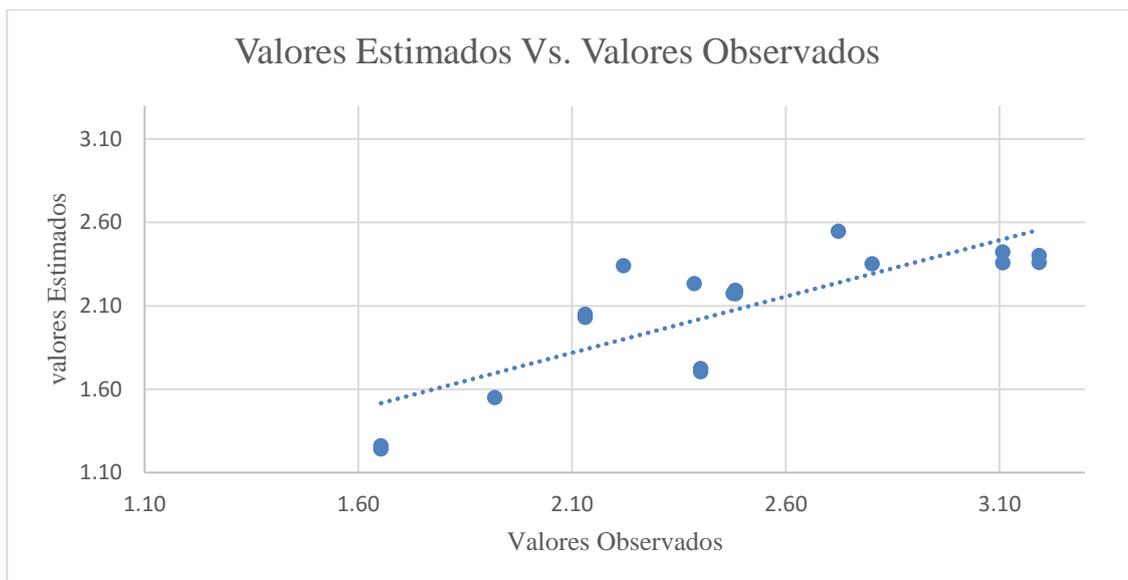


Figura 7: Representación gráfica de los valores observados y estimados de volumen específico de las formulaciones experimentales de pan.

Cuadro12: Análisis de varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para el valor de volumen específico del pan.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	p value Prob > F
Modelo	2,57	5	0,51	44,82	< 0,0001
Falta de ajuste	0,15	6	0,024	43,70	< 0,0001
Error puro	3,88	7	5,54		
Total	2,72	18			

Considerando el coeficiente de determinación (R^2), se puede establecer que el 90,95 por ciento de la variación en la respuesta es explicada por el modelo seleccionado. Con este valor se puede afirmar que el modelo es significativo; siendo además suficiente para representar la relación existente entre la respuesta (volumen específico) y las variables estudiadas (harina de quinua, almidón de papa y agua). Por otro lado con referencia al coeficiente de determinación ajustado (R^2 adj), según Gao y Jiang (2005), y Atkas (2005) citados por Salazar (2006), mencionan el uso en reemplazo de R^2 como una medida de bondad de ajuste de la ecuación de regresión a las observaciones experimentales,

mencionando que cuando su valor es cercano a 1, el grado de correlación entre los valores observados y predichos por el modelo es alta. En tal sentido, de acuerdo a lo mencionado por Salazar (2006), que el valor R^2 adj registrado (0,92), el modelo de la Ecuación (6) se ajusta de manera adecuada a los datos experimentales referidos en el Cuadro 11.

Con respecto a los coeficientes de la Ecuación (6), estos fueron analizados mediante la prueba F de Fisher, con la finalidad de eliminar aquellos que no presentaran significancia estadística (nivel de significación =0,05) (Salazar, 2006). El Cuadro 13 resume los resultados de dicho análisis.

Utilizando el criterio mencionado por Cornell (2002) citado por Salazar (2006), que cuando el valor p es mayor a 0,05 o 0,01 (dependiendo del nivel de significación escogido), el coeficiente asociado a dicho valor es no significativo; la significancia del coeficiente en cuestión queda establecida, se puede afirmar que los tres coeficientes analizados son altamente significativos, tanto 95 por ciento como al 99 por ciento de nivel de confianza, puesto que su valor p es inferior a 0,0001.

b. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE EL VOLUMEN ESPECÍFICO DEL PAN

Según lo mencionado por Alvarez-Jubete *et al.* (2009) el volumen del pan depende de un número de factores, tales como la viscosidad de la masa, relación amilosa/amilopectina, la presencia de componentes de superficie activa y/o la agregación de proteínas tras el calentamiento. En panes sin gluten, la viscosidad de las masas previa a la gelatinización del almidón es crucial para prevenir a las partículas de harina de una sedimentación y a los alveolos de un crecimiento y por lo tanto, mantener un sistema homogéneo durante el fermentado y el horneado hasta la gelatinización del almidón.

Las Figuras 8 y 9 muestran la superficie de respuesta y el ploteo de contornos, respectivamente, para el volumen específico del pan, en función del porcentaje de harina de trigo (x_1), almidón de papa (x_2) y agua (x_3).

Con la finalidad de analizar detalladamente la influencia de los tres ingredientes estudiados, se consideran los denominados “Trazos de Cox” para cada uno de ellos, presentados en la Figura 10.

Interpretando dichos trazos de acuerdo a Cornell (2002) se puede apreciar que la harina presenta un trazo de Cox muy inclinado hacia la izquierda, por lo que influye notablemente en la disminución el valor de la respuesta al incrementarse el porcentaje de éste ingrediente en la mezcla.

La harina de quinua es usada como componente de panes leudados usualmente junto con la harina de trigo. Se ha informado por Chauhan *et al.* (1992) que la adición de quinua a los panes leudados puede causar una reducción en el volumen. Esto parece estar relacionado con el alto nivel de daño en el almidón encontrado en la harina de quinua (Chauhan *et al.*, 1992) al pequeño tamaño de los gránulos y a la baja proporción de amilasa en el almidón (Fleming y Galwey, 1995).

En el caso del almidón de papa, se presenta un trazo de Cox inclinado también hacia la izquierda como sucede con la harina de quinua, pero en menor intensidad, por lo cual influye de cierta forma en la disminución del valor de la respuesta al incrementarse el porcentaje de éste en la mezcla.

Sin embargo Onyango C. *et al.* (2010) afirma que la pérdida de peso del horneado y el volumen del pan incrementó con el aumento de la cantidad de almidón para todas las formulaciones preparadas.

La información de Onyango C. *et al.* (2010) coincide con algunos valores observados, si comparamos las formulaciones 1 y 4; y 2 y 5 (parecidas en porcentaje de harina, agua y almidón). Sin embargo observando las demás formulaciones no se puede concretar si el almidón provoca una disminución de volumen o caso contrario un aumento, porque no son parecidas las cantidades de harina, almidón y agua utilizadas.

Gallagher, E. (2009) afirma que, en base a la literatura disponible, es difícil evaluar el impacto del almidón en las características microestructurales y texturales de las masas y panes que, en la mayoría de los casos, éste ingrediente es sólo parte de una formulación más compleja que implica varios ingredientes funcionales, y por tanto, sus interacciones pueden desempeñar un papel importante.

Sciarini, L. *et al.* (2012) menciona que el efecto de diferentes aditivos es altamente dependiente de la materia prima utilizada, la naturaleza y cantidad de aditivo utilizado y la disponibilidad de agua, siendo muy difícil predecir el efecto real de cada aditivo en diferentes formulaciones.

En el caso del agua presenta un trazo de Cox inclinado hacia la derecha, por el cual a medida que aumenta el porcentaje de éste en la mezcla, el valor de la respuesta aumenta.

De la Hera, E. *et al.* (2013) menciona que el volumen específico aumentó significativamente cuando aumentó el contenido de agua de la masa de sus panes libres de gluten.

El efecto plastificante del agua es crucial a la hora de hacer pan sin gluten, ya que contribuye a las propiedades extensionales de la masa durante la mezcla (Marco & Rosell, 2008).

Han, Cho, Kang, and Koh (2012) informaron que el agua causa una expansión excesiva durante el horneado, resultando panes de gran volumen.

Cuadro 13: Prueba de significancia para los coeficientes del modelo de regresión de volumen específico.

Término de modelo	Coefficiente estimado	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	P value Prob > F
Lineales	X ₁ = 1,20 X ₂ = 2,37 X ₃ = -4,77	2,57	5	0,51	44,82	< 0,0001

Design-Expert® Software
 Component Coding: Actual
 Volumen
 ● Design points above predicted value
 ● Design points below predicted value
 2.54654
 1.24168
 X1 = A: Harina
 X2 = B: Almidon
 X3 = C: Agua

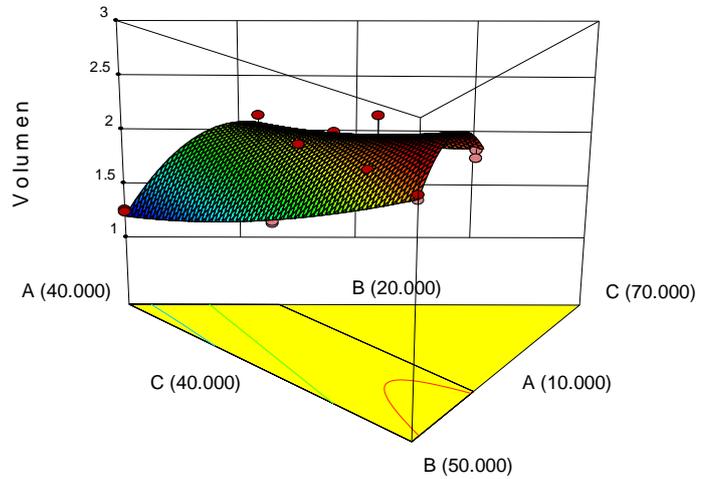


Figura 8: Superficie de respuesta para el volumen específico del pan, en función del porcentaje de harina de quinua (x_1), almidón de papa (x_2) y agua (x_3).

Design-Expert® Software
 Component Coding: Actual
 Volumen
 ● Design Points
 2.54654
 1.24168
 X1 = A: Harina
 X2 = B: Almidon
 X3 = C: Agua

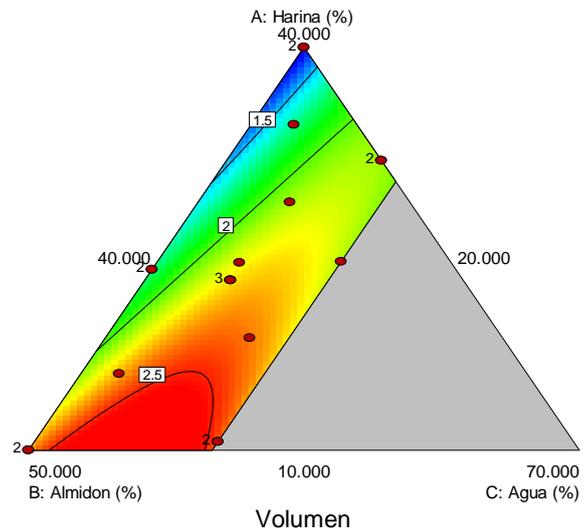


Figura 9: Ploteo de contornos de la superficie respuesta para el volumen específico del pan.

Design-Expert® Software
Component Coding: Actual
Volumen

Actual Components
A: Harina = 25.135
B: Almidon = 32.162
C: Agua = 42.703

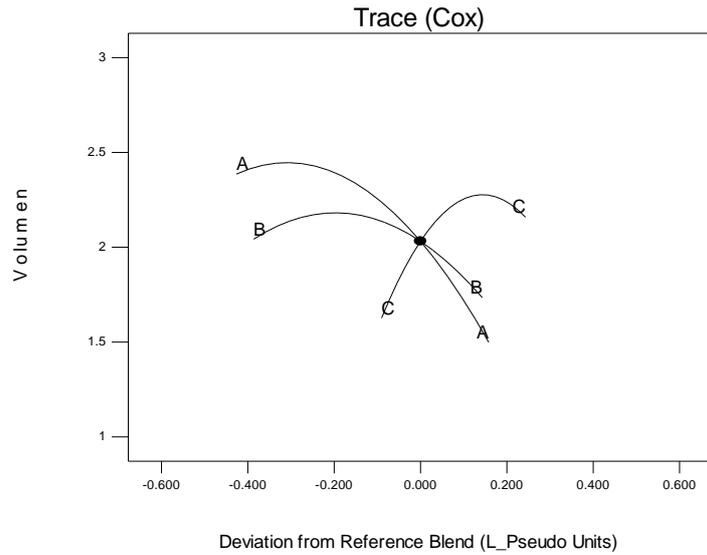


Figura 10: Trazos de Cox para la evaluación del efecto de cada ingrediente sobre el volumen específico del pan.

4.2.2. ESTRUCTURA ALVEOLAR

a. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los valores observados y estimados de la estructura alveolar, correspondientes a cada una de las formulaciones de pan estudiadas, son presentados en el Cuadro 14, asimismo la representación gráfica de estos valores son presentados en la Figura 11.

Luego de someter los valores observados al análisis de regresión múltiple correspondiente, se obtuvo la siguiente ecuación polinomial de primer grado:

$$\hat{y} = 44,41x_1 - 28,81x_2 + 167,54x_3 \quad (7)$$

Donde \hat{y} representa la estructura alveolar de pan horneado estimado (alveolos/mm²), mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de harina de quinua, almidón de papa y agua, respectivamente, presentes en la masa de pan.

Los resultados del ANVA de dicho modelo se muestran en el Cuadro 15.

Como se puede apreciar, el valor F calculado es alto (19,54) en comparación con el valor tabular $F_{(2,11,\alpha=0,05)} = 3,98$, e incluso con el valor tabular $F_{(2,11,\alpha=0,01)} = 7,21$, lo cual implica que el modelo es significativo, inclusive al 99 por ciento de nivel de confianza. Asimismo, el modelo muestra una falta de ajuste no significativa, tanto al 95 como al 99 por ciento de nivel de confianza.

Adicionalmente, se puede afirmar que el experimento tuvo buena reproducibilidad, puesto que la suma de cuadrados del error puro es menor en comparación con la suma de cuadrados total. Al respecto, Cornell (2002) señala que esta interpretación es válida, ya que para la determinación de la suma de cuadrados del error puro se utilizan las repeticiones consideradas en el diseño experimental. Gunawan *et al.* (2005) proponen la misma interpretación para esta fuente de variabilidad.

Cuadro 14: Valores observados y estimados del valor de la estructura alveolar de las formulaciones experimentales del pan.

Formulación	X ₁ Harina de quinua (%)	X ₂ Almidón de papa (%)	X ₃ Agua (%)	Estructura alveolar del pan Observado (y ₁) (alveolos/mm ²)	Estructura alveolar del pan Estimado (ŷ ₁) (alveolos/mm ²)
F1	10	50	40	27,75	48,17
F2	24	32	44	33,76	53,84
F3	16	42	42	32,88	51,16
F4	11	39	50	28,98	67,65
F5	24	26	50	32,81	65,62
F6	18	34	48	29,29	62,63

Cuadro 15: Análisis de varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para el valor de la estructura alveolar del pan.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	<i>p</i> value Prob > F
Modelo	483,33	5	96,67	19,54	< 0,0001
Falta de ajuste	64,02	6	10,67	272,29	< 0,0001
Error puro	0,27	7	0,039		
Total	547,62	18			

De acuerdo al coeficiente de determinación (R^2), el 79,93 por ciento de la variación en la respuesta es explicada por el modelo seleccionado. Por otro lado, con referencia al coeficiente de determinación ajustado (R^2 adj) cuyo valor fue igual a 0,84, se puede establecer que el modelo de la Ecuación (7) se ajusta de manera adecuada a los datos experimentales referidos en el Cuadro 14.

Con respecto a los coeficientes de la Ecuación (7), estos fueron analizados mediante la prueba F de Fisher, con la finalidad de eliminar aquellos que no presentaran significancia estadística (nivel de significación =0,05) (Salazar, 2006). El cuadro 16 resume los resultados de dicho análisis.

Al igual que el volumen específico, se puede afirmar que los tres coeficientes analizados son altamente significativos, tanto al 95 por ciento como al 99 por ciento de nivel de confianza, puesto que su valor p es inferior a 0,0001.

b. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE LA ESTRUCTURA ALVEOLAR DEL PAN

Las Figuras 12 y 13 muestran la superficie de respuesta y el ploteo de contornos, respectivamente, para la estructura alveolar, en función del porcentaje de harina de quinua (x_1), almidón de papa (x_2) y agua (x_3).

Con la finalidad de analizar detalladamente la influencia de los tres ingredientes estudiados, se consideraron los denominados “Trazos de Cox” para cada uno de ellos, presentados en la Figura 14.

Respecto al efecto de la harina de quinua, se aprecia una gran influencia en la respuesta, debido a que el trazo de Cox está muy inclinado hacia la derecha, por lo que el aumento de proporción de éste ingrediente provoca un aumento en la estructura alveolar, es decir un aumento en la cantidad de alveolos por área.

Alvarez-Jubete *et al.* (2009) menciona que la estructura alveolar representa un atributo importante en cuanto a la definición de la calidad del pan. En su estudio realizado afirman que la mayor cantidad de alveolos fue dada por el pan elaborado a base de quinua, seguido del pan de control libre de gluten (harina de arroz) y por último de la kiwicha (amaranto). Afirman también que los alveolos más finos fueron los del pan de quinua, seguido por el pan de control y kiwicha.

De dicha afirmación se puede deducir que a mayor cantidad de alveolos en un área definida, tendrá como consecuencia un alto índice de estructura alveolar (alveolos/mm²).

Respecto al efecto del almidón de papa se puede establecer una mediana influencia en la respuesta, debido a que el trazo de Cox está inclinado hacia la derecha, por lo que el aumento de proporción de éste ingrediente también provoca un aumento en la estructura alveolar, pero en menor intensidad.

Oyango C. *et al.* (2010) afirma que, en general, las propiedades de la estructura de la miga del pan libre de gluten a base de sorgo, mejoró al aumentar el contenido de almidón.

Mientras que Schober *et al.* (2005) reportaron que el pan de sorgo con una estructura de miga fina (es decir, alto número de pequeños poros por unidad de área) tiene mayor firmeza que el pan de miga gruesa, ellos encontraron lo contrario como cierto. Panes con estructuras de miga más fina tuvieron una menor firmeza y el aumento de la concentración

de almidón cambió la textura de la miga, de densa y compacta a fina. Estas diferencias pueden atribuirse a las diferentes técnicas de cocción.

Schober *et al.* (2005) también afirman que la estructura (número de pequeños poros por unidad de área) dependerá de los recipientes donde se horneen los panes, los recipientes con tapa limitan la expansión de la masa y por ende de las células de gas en la masa, resultando un gran número de pequeños poros por unidad de área.

Respecto al efecto del agua se puede establecer una influencia de gran magnitud, aunque contrario a la harina de quinua (trazo de Cox con una inclinación muy pronunciada hacia la derecha), por lo que al incrementar el porcentaje de éste ingrediente provoca una disminución en la estructura alveolar del pan.

De la Hera, E. *et al.* (2013) afirman que la adición de mucha agua conllevó a grandes agujeros (alveolos) en la miga de los panes libres de gluten elaborados.

Se puede deducir a partir de ésta afirmación que, a mayor área de alveolos, se tiene menor cantidad de ellos en una determinada área, por lo que la variable estructura tendrá un menor valor.

Cuadro 16: Prueba de significancia para los coeficientes del modelo de regresión estructura alveolar.

Término de modelo	Coefficiente estimado	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	P value Prob > F
Lineales	X ₁ = 44,41 X ₂ = 28,81 X ₃ = 167,54	483,33	5	96,67	19,54	< 0,0001

Design-Expert® Software
 Component Coding: Actual
 Estructura
 ● Design points above predicted value
 ○ Design points below predicted value
 43.4533
 27.75
 X1 = A: Harina
 X2 = B: Almidon
 X3 = C: Agua

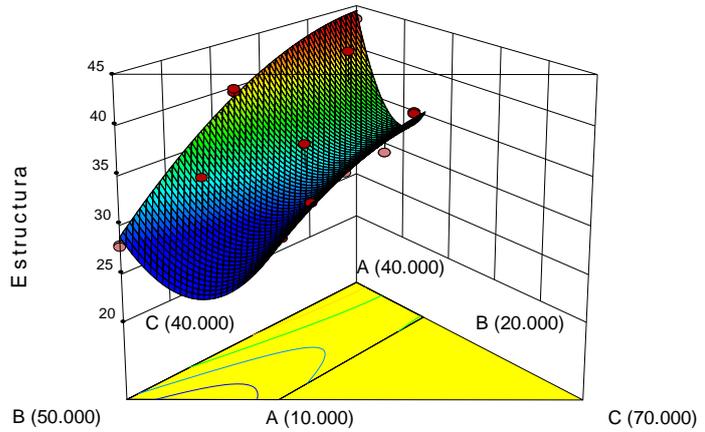


Figura 12: Superficie de respuesta para la estructura alveolar del pan, en función del porcentaje de harina de quinua (x_1), almidón de papa (x_2) y agua (x_3).

Design-Expert® Software
 Component Coding: Actual
 Estructura
 ● Design Points
 43.4533
 27.75
 X1 = A: Harina
 X2 = B: Almidon
 X3 = C: Agua

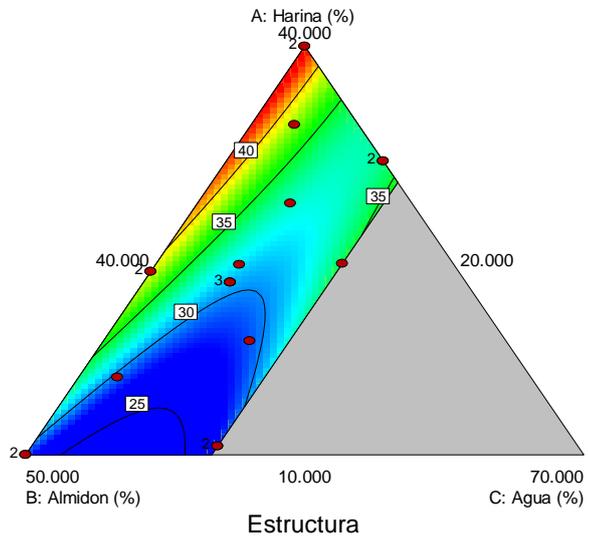


Figura 13: Ploteo de contornos de la superficie respuesta para la estructura alveolar del pan.

Design-Expert® Software
Component Coding: Actual
Estructura

Actual Components
A: Harina = 22.162
B: Almidon = 33.649
C: Agua = 44.189

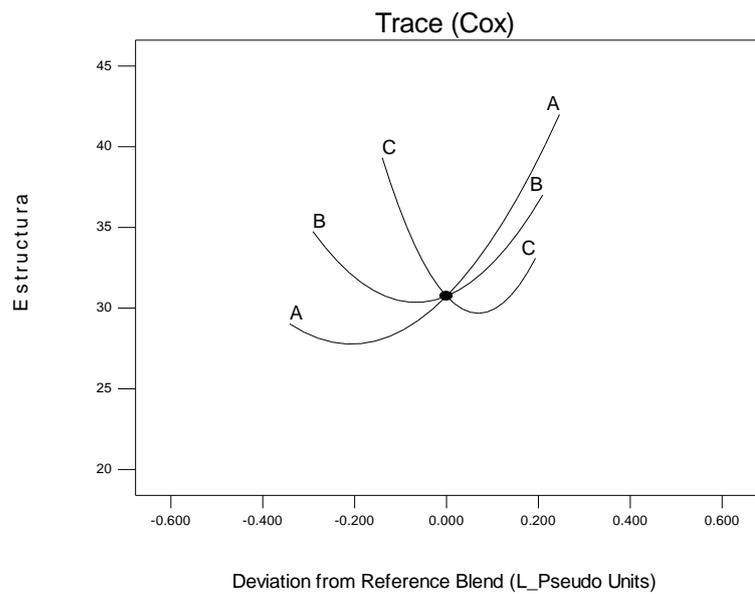


Figura 14: Trazos de Cox para la evaluación del efecto de cada ingrediente sobre la estructura alveolar del pan.

4.2.3. CONTENIDO PROTEICO

a. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los valores observados y estimados del contenido proteico correspondientes a cada una de las formulaciones de pan estudiadas, son presentadas en el Cuadro 17, asimismo la representaron gráfica de estos valores son presentadas en la Figura 15.

Luego de someter los valores observados al análisis de regresión múltiple correspondiente, se obtuvo la siguiente ecuación polinomial de primer grado:

$$\hat{y} = 9,52x_1 + 2,23x_2 + 5,08x_3 \quad (8)$$

Donde \hat{y} representa el contenido proteico del pan horneado estimado o predicho (%), mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de harina de quinua, almidón de papa y agua, respectivamente, presentes en la masa de pan.

Los resultados del ANVA de dicho modelo se muestran en el Cuadro 18.

Como se puede apreciar, el valor F calculado es muy alto ($1,42 \times 10^3$) en comparación con el valor tabular $F_{(2,11,\alpha=0,05)} = 3,98$, e incluso con el valor tabular $F_{(2,11,\alpha=0,01)} = 7,21$, lo cual implica que el modelo es altamente significativo, inclusive al 99 por ciento de nivel de confianza.

Adicionalmente, se puede afirmar que el experimento tuvo buena reproducibilidad, puesto que la suma de cuadrados del error puro es menor en comparación con la suma de cuadrados total. Al respecto, Cornell (2002) señala que esta interpretación es válida, ya que para la determinación de la suma de cuadrados del error puro se utilizan las repeticiones consideradas en el diseño experimental. Gunawan *et al.* (2005) proponen la misma interpretación para esta fuente de variabilidad.

De acuerdo al coeficiente de determinación (R^2), el 100 por ciento de la variación en la respuesta es explicada por el modelo seleccionado. Por otro lado, con referencia al coeficiente de determinación ajustado (R^2 adj) cuyo valor fue igual a 1, se establece que el modelo de la Ecuación (8) se ajusta de manera adecuada a los datos experimentales referidos en el Cuadro 17.

Con los valores obtenidos en el análisis de los coeficientes del modelo estimado, se puede afirmar que los modelos lineales fueron altamente significativos, tanto al 95 por ciento como al 99 por ciento de nivel de confianza, puesto que su valor p es inferior a 0,0001.

Cuadro 17: Valores observados y estimados del contenido proteico de las formulaciones experimentales del pan.

Formulación	X ₁ Harina de quinua (%)	X ₂ Almidón de papa (%)	X ₃ Agua (%)	Contenido proteico del pan (contenido proteico) Observado (y ₁) (%)	Contenido proteico del pan (contenido proteico) Estimado (ŷ ₁) (%)
F1	10	50	40	2,40	4,10
F2	24	32	44	6,06	5,23
F3	16	42	42	3,84	4,59
F4	11	39	50	3,04	4,46
F5	24	26	50	6,74	5,40
F6	18	34	48	4,96	4,91
F7	23	33	45	5,75	5,21
F8	23	37	40	5,49	5,05
F9	40	20	40	9,30	6,29
F10	32	20	48	8,55	5,93
F11	10	50	40	2,40	4,10
F12	34	24	42	8,29	5,91
F13	23	33	45	5,75	5,21
F14	28	27	45	7,24	5,55
F15	23	37	40	5,49	5,05
F16	11	39	50	3,04	4,46
F17	40	20	40	9,30	6,29
F18	23	33	45	5,75	5,21
F19	32	20	48	8,55	5,93

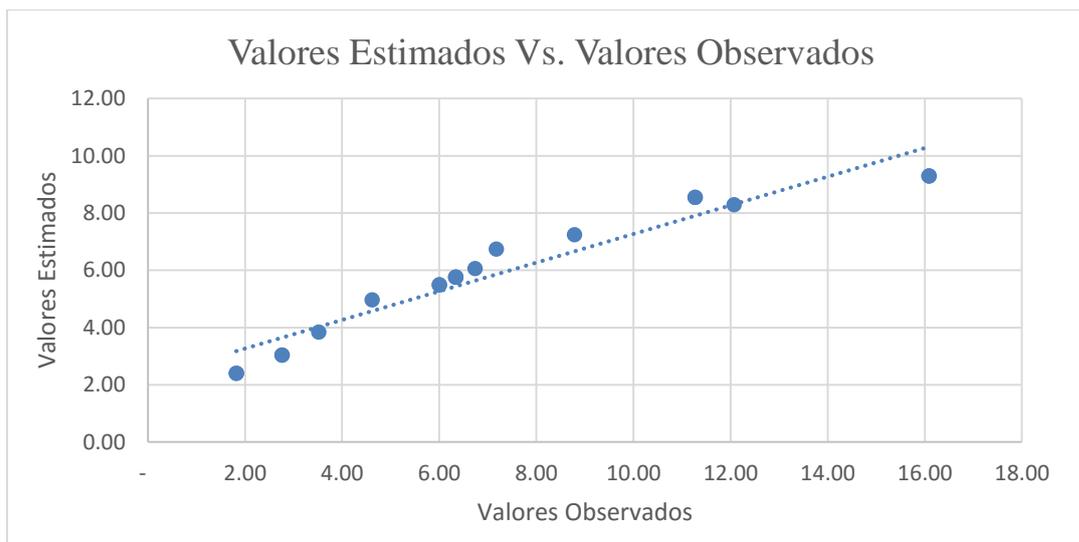


Figura 15: Representación gráfica de los valores observados y estimados del contenido proteico de las formulaciones experimentales de pan.

Cuadro 18: Análisis de varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para el valor del contenido proteico del pan.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	<i>p</i> value Prob > F
Modelo	91,27	2	45,64	1,42 x 10 ³	< 0,0001
Falta de ajuste	3,74 x 10 ⁻⁴	6	6,23 x 10 ⁻⁵		
Error puro	1,16 x 10 ⁻⁸	7	1,66 x 10 ⁻⁹		
Total	91,79	18			

b. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE EL CONTENIDO PROTEICO

Las Figuras 16 y 17 muestran la superficie de respuesta y el ploteo de contornos, respectivamente, para el contenido proteico, en función del porcentaje de harina de quinua (x_1), almidón de papa (x_2) y agua (x_3).

Con la finalidad de analizar detalladamente la influencia de los tres ingredientes estudiados, se consideraron los denominados “Trazos de Cox” para cada uno de ellos, presentados en la Figura 18.

Respecto al efecto de la harina de quinua se puede establecer una influencia debido a que el trazo de Cox está muy inclinado hacia la derecha, por lo que el aumento de proporción de éste ingrediente provoca un gran aumento en el contenido proteico del pan.

Al igual que las legumbres, los pseudocereales como el amaranto, quinua y trigo sarraceno pueden ser añadidos a productos libres de gluten con el fin de mejorar el contenido proteico. La composición de aminoácidos favorable de los pseudocereales ha sido señalado por Kuhn (1999) y Kuhn *et al.* (2000).

USDA (2008), muestra el contenido de lisina para éstos tres pseudocereales de 0,6 a 0,8 g / 100 g frente a 0,3 a 0,4 g / 100 g de harina integral.

Una de las características más relevantes de la quinua y el amaranto es su alto contenido en proteínas. Su contenido de proteínas resultó significativamente más alto que del trigo. Más importante aún, las proteínas del amaranto y quinua se consideran seguras en las dietas de los celíacos (Kupper 2005). Contrariamente a la mayoría de los granos comunes, las proteínas en la quinua y el amaranto se componen principalmente de las globulinas y albúminas, que son proteínas citoplasmáticas principalmente, y contienen muy poco o nada de proteínas de almacenamiento (prolaminas y glutelinas).

Con referencia al almidón de papa se puede establecer una influencia contraria a la influencia de la harina de quinua en el contenido proteico, observamos un trazo de Cox con una inclinación muy pronunciada hacia la izquierda.

Según el análisis proximal realizado, el almidón contiene 0,10 gramos de proteína por cada 100 gramos de éste ingrediente, es decir su aporte proteico es casi nulo.

Como se puede observar en las formulaciones 1 y 4; y 2 y 5 (parecidas en porcentaje de harina, agua y almidón) la cantidad de proteína disminuye a mayor cantidad de almidón de papa. Sin embargo observando las demás formulaciones no se puede concretar si el almidón provoca una disminución de valor proteico o caso contrario un aumento, porque no son parecidas las cantidades de harina, almidón y agua.

En cuanto al efecto del agua, no se aprecia ninguna influencia debido al trazo de Cox completamente horizontal, por lo que el aumento o disminución de éste ingrediente no tendrá efecto alguno en el contenido proteico del pan. Según Collazos (1996) la cantidad de proteína del agua mineral es nula, por lo tanto no aportará proteínas al pan libre de gluten elaborado.

Cuadro 19: Prueba de significancia para los coeficientes del modelo de regresión de contenido proteico.

Término de modelo	Coefficiente estimado	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	P value Prob > F
Lineales	X ₁ = 9,52 X ₂ = 2,23 X ₃ = 5,08	91,27	2	45,64	1419,93	< 0,0001

Design-Expert® Software
 Component Coding: Actual
 Proteina
 ● Design points above predicted value
 ○ Design points below predicted value
 9.29806
 2.40121
 X1 = A: Harina
 X2 = B: Almidon
 X3 = C: Agua

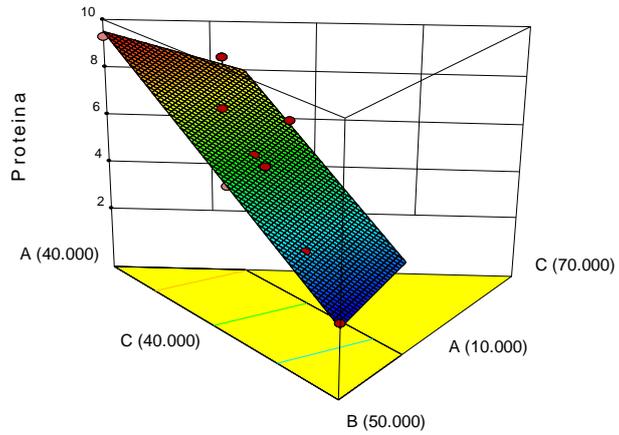


Figura 16: Superficie de respuesta para el contenido proteico, en función del porcentaje de harina de quinua (x_1), almidón de papa (x_2) y agua (x_3).

Design-Expert® Software
 Component Coding: Actual
 Proteina
 ● Design Points
 9.29806
 2.40121
 X1 = A: Harina
 X2 = B: Almidon
 X3 = C: Agua

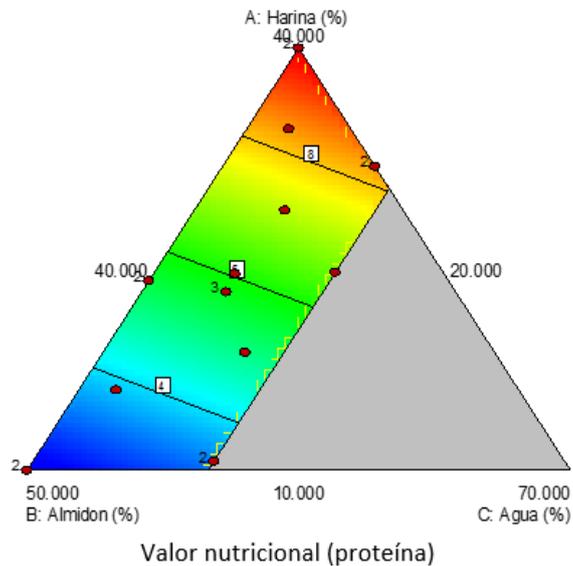


Figura 17: Ploteo de contornos de la superficie respuesta para el contenido proteico del pan.

Design-Expert® Software
Component Coding: Actual
Proteína

Actual Components
A: Harina = 22.667
B: Almidon = 32.667
C: Agua = 44.667

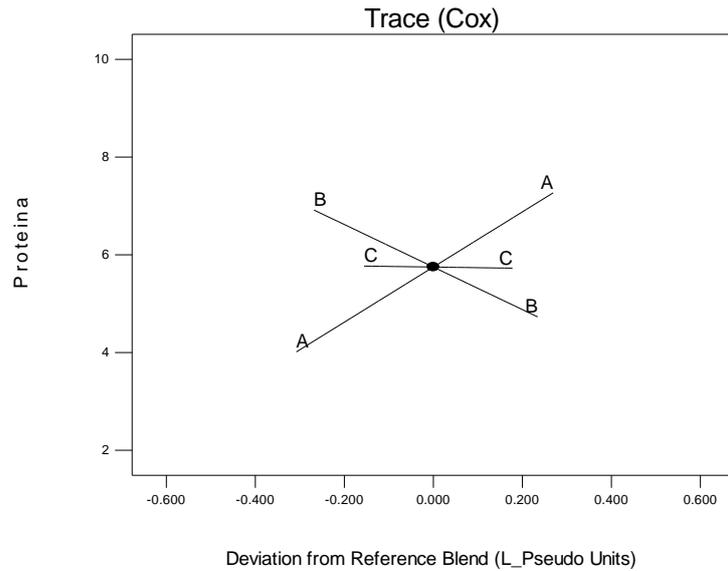


Figura 18: Trazos de Cox para la evaluación del efecto de cada ingrediente sobre el contenido proteico del pan.

4.3. MEZCLA ÓPTIMA

4.3.1 VALIDACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN

Luego de ingresar al Design Expert ® -9.0.0 v. los valores de las variables respuesta (volumen, estructura alveolar y contenido proteico) de los 19 tratamientos, se consiguió la mezcla óptima.

Obtenida dicha formulación se realizaron las determinaciones de los valores de las variables respuesta de ella. Los valores obtenidos de éstas determinaciones experimentales fueron validados, comparándose con los valores estimados por las ecuaciones del modelo en el Design Expert ® -9.0., ver Cuadro 20.

Cuadro 20: Valores estimados y observados de las variables respuesta (mezcla óptima).

Valores	Variables Respuesta		
	Volumen específico (cm ³ /gr)	Estructura alveolar (alveolos/mm ²)	Contenido proteico (%)
Valor estimado	2,08	32,98	8,49
Valor observado (laboratorio)	1,90	34,54	7,71

No existen diferencias significativas entre los valores experimentales (observados) y los estimados.

4.3.2. CARACTERIZACIÓN DE MEZCLA ÓPTIMA

a. ANÁLISIS PROXIMAL

La mezcla óptima se obtuvo con: 33,04 por ciento de harina de quinua, 20 por ciento de almidón de papa y 46,96 por ciento de agua.

Se caracterizó de forma proximal obteniendo: humedad 40,78 por ciento, grasa 5,65 por ciento, fibra cruda 1,04 por ciento, proteína 7,71 por ciento, ceniza 2,07 por ciento y carbohidratos 42,75 por ciento.

Los tratamientos con mezclas más cercanas la mezcla óptima, considerando el porcentaje de ingredientes, fueron los F10 y F12; con una dosis de harina de quinua entre 31 a 34 por ciento, de almidón de papa entre 20 y 23 por ciento, y agua entre 42 y 48 por ciento.

b. EVALUACIÓN SENSORIAL

La mezcla óptima (72 por ciento) y las dos mezclas más cercanas a ella considerando el

porcentaje de deseabilidad (69 por ciento y 66 por ciento), fueron obtenidas por el Design Expert ® -9.0. y luego fueron caracterizadas sensorialmente mediante dos pruebas afectivas: prueba de preferencia ampliada y prueba del grado de satisfacción. En el Cuadro 21 se detallan las 3 formulaciones mencionadas:

Cuadro 21: Tres Mejores Mezclas.

Código	Harina de quinua		Almidón de papa		Agua		Deseabilidad
	%	gr	%	gr	%	gr	%
222	33,038	140,41	20	85	46,962	199,59	72
111	21,757	92,47	30,909	131,36	47,333	201,17	69
333	16,883	71,75	35,784	152,08	47,333	201,17	66

Formulación óptima: código 222.

B.1. PRUEBA DE PREFERENCIA AMPLIADA

En esta prueba, las tres mejores mezclas de pan obtenidas fueron presentadas simultáneamente, para ser ordenadas de acuerdo a la preferencia en cuanto al sabor.

Se consideró en primer lugar (1°) a la preferida, y en tercer lugar (3°) la menos preferida.

En la Figura 19 se muestran los resultados de la prueba de preferencia para el pan libre de gluten. Los detalles de las respuestas de los panelistas se muestran en el Anexo 4.

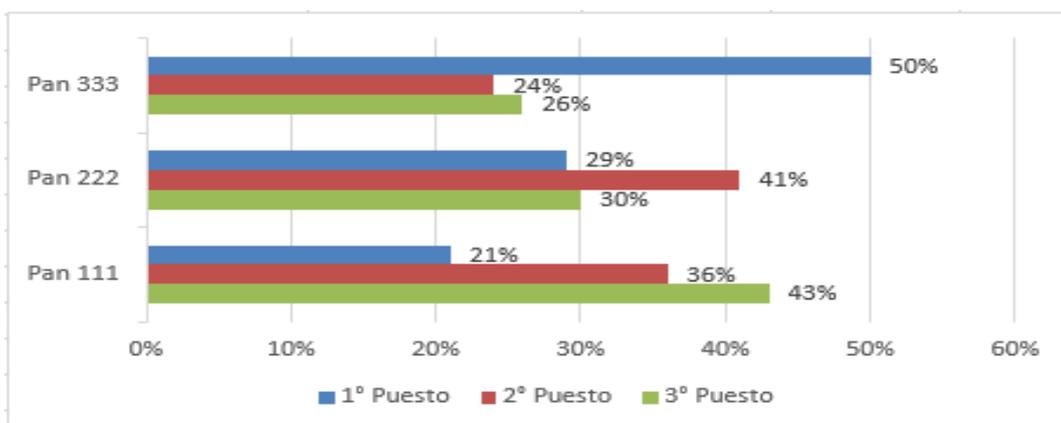


Figura 19: Evaluación sensorial del pan libre de gluten, tres mejores formulaciones obtenidas, mediante una prueba de preferencia ampliada.

No existen diferencias estadísticamente significativas entre las tres muestras de pan, para ésta prueba sensorial

Se observó que a mayor contenido de harina de quinua, la aceptabilidad es menor (Figura 19); sin embargo la mezcla óptima (muestra 222) contiene el mayor porcentaje de harina de quinua del rango señalado anteriormente (Cuadro 21).

B.2. PRUEBA DEL GRADO DE SATISFACCIÓN CON ESCALA HEDÓNICA

En esta prueba se evaluaron las 3 muestras de pan en cuanto a atributo de sabor y su aceptabilidad general en el orden indicado.

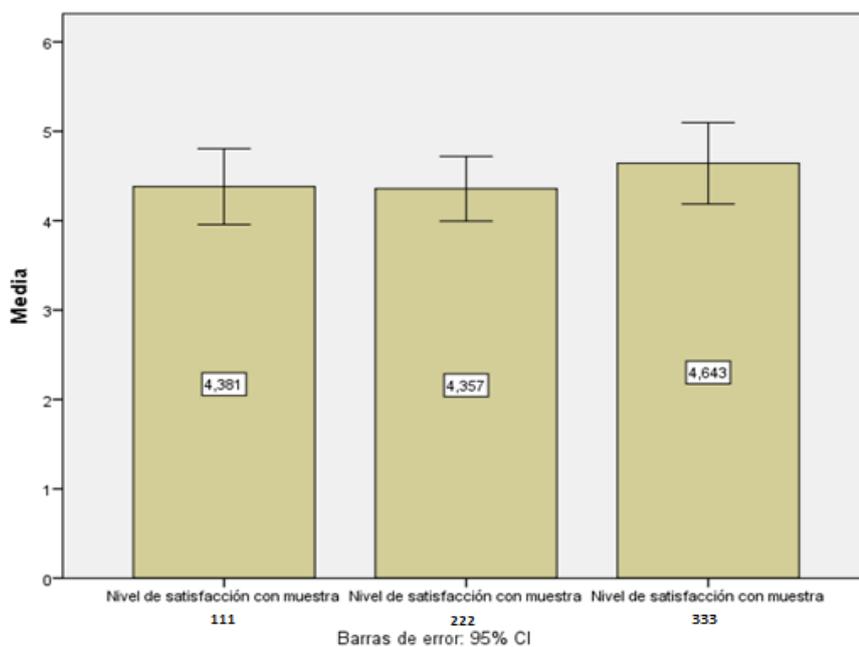


Figura 20: Evaluación sensorial del pan libre de gluten, tres mejores formulaciones obtenidas, mediante una escala hedónica (prueba de grado de satisfacción).

No existen diferencias estadísticamente significativas entre las tres muestras de pan para ésta prueba sensorial.

V. CONCLUSIONES

1. Se demostró que es posible elaborar panes libres de gluten a partir de harina no convencional, con alta y buena calidad proteica como es la harina de quinua, constituyendo una excelente alternativa de nutrición para personas celíacas.
2. La formulación óptima (muestra 222) de pan libre de gluten tiene una composición de 33,04 por ciento de harina de quinua, 20 por ciento de almidón de papa y 46,96 por ciento de agua.
3. El pan obtenido con la formulación óptima presentó un volumen específico de 1,9 cm³/gr, estructura alveolar de 34,54 alvéolos/mm² y 7,71 por ciento de proteínas.
4. Existe una pérdida de volumen específico con el aumento de la cantidad de harina de quinua, así como un aumento de volumen específico con el aumento de la cantidad de agua incorporada.
5. El análisis proximal del pan obtenido con la formulación óptima presentó un contenido de humedad de 40,78 por ciento, 7,71 por ciento de proteína, 5,65 por ciento de grasa, 1,04 por ciento de fibra bruta, 2,07 por ciento de cenizas y 43,33 por ciento de carbohidratos.
6. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ambas pruebas sensoriales, lo que evidencia que no hay una preferencia marcada de parte del consumidor.
7. El método de diseño de mezclas facilitó el trabajo de investigación al permitir reducir el número de tratamientos, y tener un control adecuado de la información.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios de vida en anaquel para determinar el tiempo de vida útil del pan obtenido con la formulación óptima y complementarlo con un análisis microbiológico.
2. Hacer un estudio de caracterización reológica y textural de la masa del pan obtenido con la formulación óptima.
3. Realizar estudios de mercado para determinar la viabilidad comercial del pan como alternativa nutritiva para celíacos.
4. Las características de los panes de quinua pueden ser mejoradas y adaptadas según las exigencias del consumidor a través del uso de aditivos para panificación, cuya aplicación requerirá de investigaciones adicionales a la presente.
5. Determinar el efecto de la inclusión de aditivos alimentarios al pan.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- **AACC 2000.** American Association of Cereal Chemists. International Approved Methods.
- **ABDEL-AAL, E. 2009.** Functionality of starches and hydrocolloids in gluten free foods. In E. Gallagher (Ed.), *Gluten-free food science and technology* (pp. 200 - 224). London: John Wiley & Sons.
- **AHAMED, N.; SINGHAL, R.; KULKARNI, P. Y PAL, M. 1998.** A lesser-known grain, *Chenopodium quinoa*: Review of the chemical composition of its edible parts. *Food and Nutrition Bulletin*. 19: 61-70.
- **AHLBORN, G. J., PIKE, O. A., HENDRIX, S. B., HESS, W. H., AND HUBER, C. S. 2005.** Sensory, mechanical, and microscopic evaluation of staling in low-protein and gluten-free bread. *Cereal Chem.* 83, 328–335.
- **AKTAS, N. 2005.** Optimization of biopolymerization rate by response surface methodology (RSM). *Enzyme and Microbial Technology*. Turkey. 37:441-447.
- **ALBERT, S. Y MITTAL, G.S. 2002.** Comparative evaluation of edible coatings to reduce the uptake in a deep fried cereal product. *Food Res. Int.* 35, 445–458.
- **ALVAREZ-JUBETE, L.; ARENDT, E.; GALLAGHER, E. 2009.** Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 60(1) (Suppl. 4), 240 – 257.

- **ALVAREZ-JUBETE, L.; AUTY, M; ARENDT, E.; GALLAGHER, E. 2010.** Baking properties and microstructure of pseudocereal Flours in gluten-free bread formulations. *Eur Food Res Technol.* 230:437–445.

- **ANZALDUA – MORALES, A. 1994.** La evaluación sensorial de los alimentos en la Teoría y la Práctica. Editorial Acribia. España. 198 p.

- **AOAC (Association of Oficial Analytical Chemists Internacional). 2002.** Official methods of analysis of AOAC International. Decimoctava edición. Editorial AOAC Internacional. Maryland, Estados Unidos.

- **ARENDT, E. Y DAL BELLO, F. 2008.** Gluten free cereal products and beverages. Food Science and Technology, International Series. Department of Food and Nutritional Sciences University College Cork, Ireland.

- **ARMERO, E. Y COLLAR, C. 1996a.** Anti-staling additives, flour type and sourdough process effects on functionality of wheat doughs. *J. Food Sci.* 61, 299–303.

- **ARMERO, E. Y COLLAR, C. 1996b.** Anti-staling additive effects on fresh wheat bread quality. *Food Sci. Technol. Int.* 2, 323–333.

- **ASTUHUAMÁN, L. 2007.** Efecto de la cocción-extrusión en la fibra dietaria y en algunas propiedades funcionales de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Tesis Ing. en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

- **AZUAJE, R. Y SANCHEZ, J. 1999.** Produccion de Xantano por Xantomonas Campestris en un medio de cultivo no convencional. *Acta Cientifica Venezolana.* Venezuela.

- BECKER, R. and HANNERS, G. D. 1990.** Compositional and nutritional evaluation of quinoa whole grain flour and mill fractions. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 23, 441–444.

- BELITZ, H; GROSCH, W; SCHIEBERLE, P. 2009.** *Food Chemistry*. 4th revised and extended edition. Springer. Germany.

- BLOKSMA, A. 1990.** Dough structure, dough rheology, and baking quality. *Cereal Foods World* 35, 237–243.

- CARDOZO, A. y TAPIA, M. 1979.** Valor nutritivo en quinoa y kañihua. *Cultivos Andinos. Serie libros y Materiales educativos N° 49*, pp 19-192, Bogotá, Colombia. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.

- CARRERA ZAMALLOA, P.M. 1995.** Sustitución de la harina de trigo por quinua (*Chenopodium quinoa*) precocida en la elaboración del pan. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Lima – Perú.

- CENAN 1993.** Tabla de composición de Alimentos. Instituto Nacional de Salud. Ministerio de Salud. Lima, Perú.

- CHAUHAN, G.S., ZILLMAN, R.R. Y ESKIN, N.A.M. 1992.** Dough mixing and breadmaking properties of quinoa-wheat flour blends. *International Journal of Food Science and Technology* 27, 701–705.

- COLLAZOS, C. 1996.** Composición de alimentos de mayor consumo en el Perú. Ministerio de Salud. Instituto Nacional de Nutrición 6ta Edición. Lima – Perú.

- CORNELL, J.A. 2002.** Experiments with mixtures designs, models and analysis of mixture data. John Willey & Sons, New York.

- **CUBERO, N.; MONFERRER, A. Y VILLALTA, Y. 2002.** Aditivos Alimentarios. Editorial Mundi Prensa. España.

- **DAVIDOU, S., LE MESTE, M., DEBEVER, E., AND BEKAERT, D. 1996.** A contribution to the study of staling of white bread: effect of water and hydrocolloid. Food Hydrocolloids 10, 375–383.

- **DE LA HERA, E.; ROSELL, C. Y GOMEZ, M. 2013.** Effect of water content and flour particle size on gluten- free bread quality and digestibility. Food Chemistry 151 (2014) 526–531.

- **ELIASSON, A.; LARSSON, K. 1993.** Cereals in Breadmaking: A Molecular Colloidal Approach. New York: Marcel Dekker.

- **ESPINO TENORIO, LILIANA. 2006.** Estabilización del ketchup utilizando: Goma Xantano y Goma de Tara. Tesis para optar el grado de Magister Scientae. Universidad Agraria La Molina. Perú.

- **FAO/OMS/UNU. 1985.** Necesidades de energía y de proteína. Informe de una reunión consultiva conjunta de expertos. Serie de Informes técnicos N° 724. Roma – Italia.

- **FARRELL, J.; KELLY, P. 2002.** Coeliac sprue. New Engl J Med 346(3):180–8.

- **FASANO A, CATASSI C. 2001.** Los enfoques actuales para el diagnóstico y el tratamiento de la enfermedad celiaca: un espectro en evolución. Gastroenterología 120:636_651.

- **FENNEMA, O.2000.** Química de los alimentos. Tercera Edición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.

- **FLEMING, J.E. Y GALWEY, N.W. 1995.** Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd): nutritional quality and technological aspects as human food. In: *Increasing the Utilisation of Sorghum, Buckwheat, Grain Amaranth and Quinoa for Improved Nutrition*, Institute of Food Research, Norwich, pp. 49–64.

- **FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). 1970.** “Development of Bakery products and paste goods from cereal and non-cereal flours, starches and protein concentrates”. Second Edition revised. Volumen I. Rome – Italy.

- **FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). 2011.** La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial.

- **GALLAGHER, E., KUNKEL, A., GORMLEY, T. R., AND ARENDT, E. K. 2003.** The effect of dairy and rice powder addition on loaf and crumb characteristics, and on shelf life (intermediate and long term) of gluten-free breads stored in a modified atmosphere. *Eur. J. Food Res.* 218, 44–48.

- **GALLAGHER, E., GORMLEY, T. R., AND ARENDT, E. K. 2004a.** Crust and crumb characteristics of gluten-free breads. *J. Food Eng.* 56, 153–161.

- **GALLAGHER, E., GORMLEY, T. R., AND ARENDT, E. K. (2004b).** Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends Food Science & Technology* 15, 143–152.

- **GALLAGHER, E. 2009.** *Gluten-Free Food Science and Technology*. Ashtown Food Research Centre, Teagasc, Dublin, Ireland.

- **GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA. 2015.** Gobierno regional inició proyecto de cultivo de quinua (en línea). Consultado el 15 abril del 2015. Disponible en

<http://www.regioncajamarca.gob.pe/noticias/gobierno-regional-inici-proyecto-de-cultivo-de-quinua>

•**GAO, Y-L. y JIANG, H-H. 2005.** Optimization of process conditions to inactivate *Bacillus subtilis* by high hydrostatic pressure and mild heat using response surface methodology. *Biochemical Engineering Journal*. China. 24: 43-48.

•**GOESAERT, H.; BRIJS, K.; VERAVERBEKE, W.; COURTIN, C.; GEBRUERS, K.; AND DELCOUR, J. 2005.** Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends Food Sci. Technol.* 16, 12–30.

•**GORBITZ A. Y LUNA DE LA FUENTE R. 1977.** “Estudios sobre quinua en el Perú” – EEA, La Molina – Lima.

•**GURKIN, S. 2002.** Hydrocolloids – Ingredients that add flexibility to tortilla processing. *Cereal Foods World* 47, 41 – 43.

•**GUTIERREZ H., 2012.** Análisis y diseño de experimentos. México, D.F. McGraw-Hill c2012.

•**GUNAWAN, E.R.; BASRI, M.; RAHMAN, M.B.A.; SALLEH, A.B.; RAHMAN, R.N.Z.A. 2005.** Study on response surface methodology (RSM) of lipase-catalyzed synthesis of palm-based wax ester. *Enzyme and Microbial Technology*. Malaysia. 37(7): 739-744.

•**HAN, H. M., CHO, J. H., KANG, H. W., & KOH, B. K. 2012.** Rice varieties in relation to rice bread quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 1462–1467.

•**HOSENEY, C. 1991.** Principios de ciencia y tecnología de cereales. Acribia S.A. Zaragoza – España.

•**HUAMAN CASTILLA, NILS LEANDER. 2011.** “Evaluación de la difusividad técnica en granos de quinua y cañihua sometidos a tratamiento térmico”. Tesis para optar el grado de Magister Scientae. Universidad Agraria La Molina. Perú.

• **HUG-ITEN, S.; CONDE-PETIT, B.; AND ECHER, F. 2001.** Structural properties of starch in bread and bread model systems—influence of an antistaling α -amylase. Cereal Chem. 78, 421–428.

•**HUI, Y.H.; CORKE, H.; DE LEYN, I.; CROSS, N.; NIP, W. 2006.** Baking products: Science and Technology. Blackwell Publishing. Iowa – EEUU.

•**IIAI. 1977.** Instituto Agroindustrial – Programa Nacional de Alimentación popular. Proyecto III. “La quinua como sucedánea y fortificación en la harina de trigo en panificación, fideería y galletería”. División tecnológica alimentaria. Lima – Perú.

•**JEANS, A.; PITTSLEY, J. y SENTI, R. 1961.** Polysaccharide B – 1459: A new hydrocolloid polyelectrolyte produced from glucose by bacterial fermentation. Journal Applied Polymer Science. 5:519 – 526. USA.

•**KARMAS, E.; HARRIS, R. 1988.** Nutritional Evaluation on Food Processing. 3 ed. AVI Book – Van Norstrand Reinhold. New York – The United States.

•**KATZBAUER, B. 1998.** Properties and applications of xanthan gum. Polymer Degradation and Stability, v. 59, p. 81-84.

•**KENNEDY, J.F. y BRADSHAW, I.J. 1984.** Production, properties and applications of xanthan. Prog. Ind. Microbiol. 19:319 – 371. USA.

- KENT, N.L; EVERS, A.D. 1994.** Technology of Cereals: An Introduction for Students of Food Science and Agriculture. 4 ed. Pergamon. Oxford – The United Kingdom.

- KUEHL, R. 2001.** Diseño de Experimentos: Principios Estadísticos para el Diseño y Análisis de Investigaciones. 2a. ed. Thomson - Learning. México, D.F. 666 p.

- KULP, K.; LORENZ, K. 2003.** Handbook of dough fermentations. Marcel Dekker. New York – The United States.

- KUHN, M. 1999.** Pseudocerealien – eine Herausforderung für künftige Forschung und Produktentwicklung. Getreide Mehl und Brot 53 (1), 8–11.

- KUHN, M., GÖTZ, H., ZEMBROD, A., SCHNELL, F., SEIBOLD, P. Y CISSÉ, M. 2000.** Eigenschaften und Technologie von amarant haltigen Teigen und Massen. Getreide Mehl und Brot 54 (6), 371–375.

- KUPPER C. 2005.** Dietary guidelines and implementation for celiac disease. Am Gastroenterol Assoc 128(4):S121_S127.

- LEE, M. H., BAEK, M. H., CHA, D. S., PARK, H. J., AND LIM, S. T. 2002.** Freeze-thaw stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharide gums. Food Hydrocolloids 16, 345–352.

- MARCO C., & ROSELL, C. M. 2008.** Breadmaking performance of protein enriched gluten free breads. European Food Research and Technology, 227, 1205-1213.

- MCCARTHY, D. F., GALLAGHER, E., GORMLEY, T. R., SCHOBER, T. J., AND ARENDT, E. K. 2005.** Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. Cereal Chem. 82, 609–615.

- MELIAN, D. 2010.** Ensayo comparativo de dos metodologías de extracción de almidón de papa usando muestras de diez variedades nativas de Chile y dos variedades comerciales. Tesis para optar el grado de licenciado de Ciencia de Alimentos. Escuela de Ingeniería de Alimentos. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

- MOLINA AMOROS, V. 1972.** “Desarrollo de un metodo de lavado por agitación y turbulencia del grano de quinua (*Chenopodium quinoa*)”. Tesis para optar el titulo de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Lima – UNALM.

- MONTGOMERY, D. 2002.** Diseño de análisis de experimentos 2da Edición. Editorial Limusa Wiley.

- MOORE, M., HEINBOCKEL, M., DOCKERY, P., ULMER, H.M. Y ARENDT, E. K. 2006.** Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Cereal Chemistry* 83, 28-36.

- MOORE, M. M., SCHOBBER, T. J., DOCKERY, P., AND ARENDT, E. K. 2004.** Textural comparison of gluten-free and wheat based doughs, batters and breads. *Cereal Chem.* 81, 567–575.

- MOORE, M. M. Y ARENDT, E. K. 2007.** Fundamental study on gluten-free flours and their potential use in bread systems. Paper read at Cereal and Europe Spring Meeting. Montpellier, France, 2007.

- MUJICA, A. 2000.** Potencial y perspectivas futuras de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en el Perú. *Revista Mosaico*.

- MUJICA, A.; ORTIZ, R.; BONIFACIO, A.; SARAVIA, R.; CORREDOR, G.; ROMERO, A.; JACOBSEN, S. 2006.** Agroindustria de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en los países andinos. Proyecto quinua: Cultivo multipropósito para los países andinos INT/01/K01 Perú-Bolivia-Colombia. Puno, Perú.

- MURRAY, J. 1999.** The widening spectrum of celiac disease. *Am J Clin Nutr* 69:354–65.

- NANKA, G. 1998.** Herstellung und Charakterisierung von Mahlprodukten aus Pseudocerealien. Diplomarbeit, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria.

- NIWINSKI, M. 2008.** Los avances en la enfermedad celíaca y la dieta sin gluten. *J Am Diet Assoc* 108:661_672.

- ONYANGO, C.; MUTUNGI, C.; UNBEHEND, G. Y LINDHAUER M. 2010.** Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *LWT - Food Science and Technology* 44 (2011) 681- 686.

- PASCUAL, G.; CORTEZ G.; MELGAREJO, S.; RAMOS, C. 2006.** Guía de Práctica de Tecnología de Cereales y leguminosas. Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria “La Molina”. Lima – Perú.

- PEDRERO, D; PANGBORN, N. 1996.** Evaluación sensorial de alimentos, Métodos analíticos. Editorial Alhambra Mexicana. México D.F.

- PRAKASH, D. y PAL, M. 1998.** Chenopodium: seed protein, fractionation and amino acid composition. *International J. Food Sciences and nutrition.* 82: 481 -488.

- RENZETTI, S.; DAL BELLO y ARENDT, E. 2007.** Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science* 48 (2008) 33–45

- REPO–CARRASCO, R. 1992.** Cultivos Andinos y alimentación infantil. Comisión de coordinación de tecnología andina.

- **REPO-CARRASCO, R. 1998.** Introducción a la ciencia y tecnología de cereales y granos andinos. Edi- Agraria. Lima, Perú.

- **REPO-CARRASCO, R. 2011.** Andean indigenous food crops: nutritional value and bioactive compounds. Doctoral thesis. Department of Biochemistry and Food Chemistry. University of Turku - Finland.

- **REICHERT, R. D., TATARINOVICH, J. T., Y TYLER, R. T. 1986.** Abrasive dehulling of quinoa (*Chenopodium quinoa*): Effect on saponin content as determined by an adapted hemolytic assay. *Cereal Chem.* 63, 471–475.

- **RIBOTTA, P., PÉREZ G. Y AÑÓN, M. 2010.** Optimization of Additive Combination for Improved Soy–Wheat Bread Quality. *Food Bioprocess Technology* 3:395–405.

- **RODRIGO, L. 2006.** Enfermedad celiaca. *World J Gastroenterol* 12(41):6585_6593.

- **ROGOVIN, P.; ANDERSON, R. y CADMUS, M. 1961.** Production of polysaccharide with *Xanthomonas campestris*. *Journal Biochem. Microbiol. Technol. Eng.* 3:51 – 63.USA.

- **RUALES, J. y NAIR, B. 1994.** Properties of starch and dietary fibre in raw and processed quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Plant Foods Hum. Nutr.* 45, 223–246.

- **SALAZAR, A. 2006.** Optimización del nivel de sustitución de tejido graso de cerdo por inulina en la formulación de un paté bajo en grasa. Tesis de grado. UNALM. Lima – Perú.

- **SCARPATI DE BRICEÑO, Z. Y O. BRICEÑO. 1980.** Evaluación de la composición de algunas entradas de quinua del banco de germoplasma de la Universidad Nacional Técnica del Altiplano, p. 69-77. In: Tercer congreso internacional de cultivos andinos, Feb. 8-12, 1982. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, La Paz, Bolivia.

- **SCIARINI, L.; RIBOTTA, P.; LEÓN, A.; PEREZ, G. 2012.** Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. *Journal of Food Engineering* 11, 590–597.

- **SCHOBER, T. J., MESSERSCHMIDT, M., BEAN, S. R., PARK, S.-H., & ARENDT, E. K. 2005.** Gluten-free bread from sorghum: quality differences among hybrids. *Cereal Chemistry*, 82, 394-404.

- **SINGH, J. Y KAUHR, L. 2009.** *Advances in potato chemistry and technology*. First Edition. Editorial Academic Press, Burlington MA. USA. 508 p.

- **STOKKE, B. T. y CHRISTENSEN, B. E. 1996. Food Hydrocolloids. Fod Chemistry.** 10(1):83 – 89. Gran Bretaña.

- **STONE, H.; SIDEL, J. 2004.** *Sensory evaluation practices*. 3 ed. Elsevier Academic Press. California – The United States.

- **TAPIA, M. 1979.** “Cultivos andinos”. *Revista Minka a favor de una autentica ciencia campesina*.

- **THOMPSON, T. 1999.** Thiamin, riboflavin, and niacin contents of the gluten-free diet: is there cause for concern? *Journal of the American Dietetic Association* 99, 858-862.

- **THOMPSON, T. 2000.** El folato, hierro, y el contenido de fibra dietética de la dieta libre de gluten. *J Am Diet Assoc* 100:1389_1395.

- **THOMPSON, T., DENNIS M., HIGGINS, L., LEE, A.R. Y SHARRET, M.K. 2005.** Gluten-free diet survey: are Americans with coeliac disease consuming recommended amounts of fibre, iron, calcium and grains foods. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 18163-18169.

- THOMPSON, T. 2009.** The nutritional quality of gluten-free foods. In E. Gallagher (Ed.), *Gluten-free food science and technology*. Oxford: Wiley-Blackwell.

- TOUFEILI, I., DAGHER, S., SHADAREVIAN, S., NOUREDDINE, A., SARAQBI, M., Y FARRAN, T. M. 1994.** Formulation of gluten-free pocket-type flat breads: Optimization of methylcellulose, gum arabic, and egg albumen levels by response surface methodology. *Cereal Chem.* 71, 594–601.

- USDA 2008.** National Nutrient Database for Standard Reference, Release 21. <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/> (accessed 14 January 2009).

- VALDEZ, J. 2009.** Guía de Práctica de Evaluación Sensorial de los Alimentos. Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria “La Molina”. Lima – Perú.

- VARGAS, S. R. 1977.** Elaboración de una mezcla alimenticia a base de quinua (*Chenopodium quinoa*) y soya (*Glycine max*). Tesis para optar el título de ingeniero en industrias alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 120p.

- WARD, F.; ANDON, S. 2002.** Hydrocolloids as film formers, adhesives and gelling agents for bakery and cereal products. *Cereal Foods World*, 47, 52–55.

- WATTS, B.; YLIMAKI, G.; JEFFREY, L. y ELIAS, L. 1982.** Métodos sensoriales Básicos para la evaluación de Alimentos. Ottawa. Ont. CIID. 170 p.

- WIESER, H.; KONITZER, K. & KOHELER, P. 2012.** AACC International Society. *Cereal Foods World*. Vol. 57, No. 5, pp 201-248. Canadá.

- WILLIAMS, P. A. Y PHILLIPS, G. O. 2000.** Introduction to hydrocolloids. In: Phillips, G. O. and Williams, P. A. eds. *Handbook of Hydrocolloids*. Cambridge: Woodhead Publishing, pp. 1–19.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

FORMATO DE EVALUACIÓN PRUEBA DE PREFERENCIA AMPLIADA

NOMBRES Y APELLIDOS.....	FECHA: .../.../..
	HORA:

Usted puede comer Gluten? SI NO

1. INDICACIONES

Evalúe las muestras, en el orden indicado, y ordénelas de acuerdo a su preferencia en cuanto al sabor, colocando en primer **(1) lugar la que prefiera más** hasta llegar al último **(3) donde colocará la que prefiera menos.**

Producto: Panes Libres de Gluten

CODIGO	ORDEN DE PREFERENCIA EN CUANTO AL SABOR

2. OBSERVACIONES

ANEXO 2

FORMATO DE EVALUACIÓN PRUEBA DEL GRADO DE SATISFACCIÓN CON ESCALA HEDÓNICA

NOMBRES Y APELLIDOS.....	FECHA:../../..
	HORA.

Usted puede comer Gluten?

SI

NO

1. INDICACIONES

Ud. evaluará tres muestras de panes en cuanto a aceptabilidad general en el orden indicado.

Marque en la escala, con un aspa, el renglón que corresponda a la calificación para cada muestra.

ESCALA	MUESTRA 111	MUESTRA 222	MUESTRA 333
Me gusta extremadamente			
Me gusta mucho			
Me gusta ligeramente			
Ni me gusta ni me disgusta			
Me disgusta ligeramente			
Me disgusta mucho			
Me disgusta extremadamente			

2. OBSERVACIONES

ANEXO 3

PRUEBAS DE EVALUACIÓN SENSORIAL

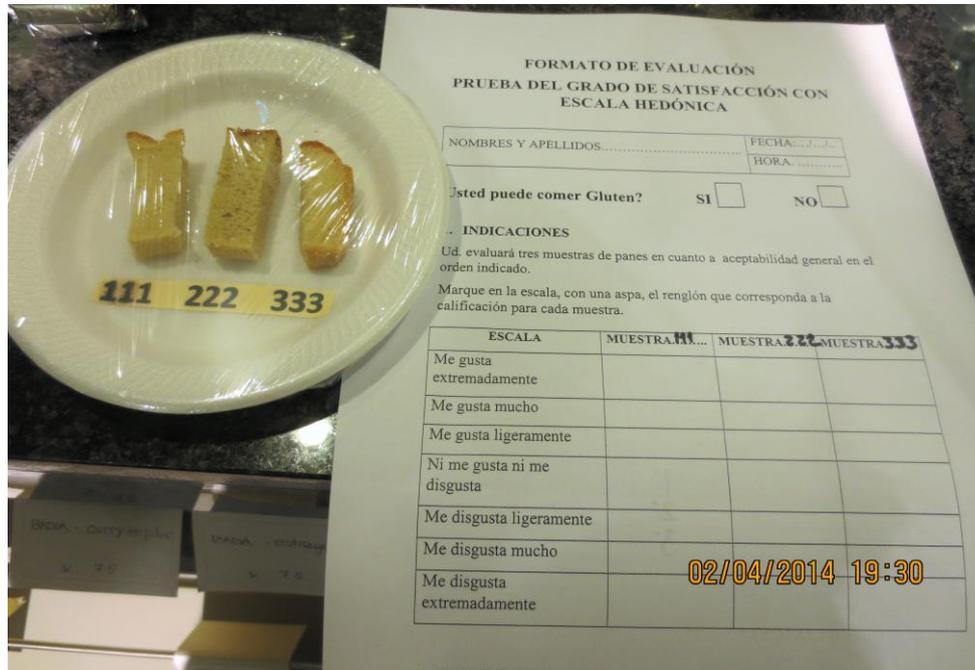


Figura 21: Muestras y formato de evaluación



Figura 22: Panelista no entrenado durante prueba sensorial

ANEXO 4

DESCRIPCIÓN DE PANELISTAS NO ENTRENADOS

Cuadro 22: Resultados de la prueba de preferencia ampliada

PANELISTA		CELIACO	CÓDIGO DE MUESTRA		
			MUESTRA 111	MUESTRA 222	MUESTRA 333
1	ROY NAPA	NO	1	3	2
2	CRISTINA KISNER	NO	1	3	2
3	CARMEN AYALA	NO	1	2	3
4	MILAGROS RIVAS	SI	1	2	3
5	LESLIE SANCHEZ	NO	1	3	2
6	ANA DURAND	NO	1	2	3
7	MARICIELO PINTADO	SI	1	2	3
8	DIEGO USSEGLIO	NO	3	1	2
9	GHISELLA VÁSQUEZ	NO	3	1	2
10	CLAUDIA ARAUJO	SI	2	1	3
11	RAÚL DEL CASTILLO	NO	3	1	2
12	CONSUELO ESTRELLA	NO	2	1	3
13	HARRY OCHOA	NO	3	1	2
14	BETO HUAMAN	SI	3	1	2
15	FERNANDO ALENYA	NO	3	1	2
16	XIMENA GOMEZ	SI	2	1	3
17	CLARA GONZÁLEZ	NO	2	1	3
18	BLANCA GAMBOA	SI	2	1	3
19	JESUS TONG	NO	2	1	3
20	JOSE ESPINOZA	NO	2	3	1
21	ALEJANDRA LONGA	NO	2	3	1
22	VICTOR PACHECO	NO	3	2	1
23	FIGURELLA ARTETA	SI	3	2	1
24	TATIANA SOTAC	NO	3	2	1
25	MARLUCE COPATI	SI	3	2	1
26	SILVANA PEREZ	NO	2	3	1
27	ANA VÁSQUEZ	NO	2	3	1
28	SARA BERMUDEZ	SI	3	2	1
29	NUBIA ARÉVALO	NO	3	2	1
30	FELIX FLORES	NO	2	3	1
31	CARMEN LOO	SI	2	3	1
32	KATIA CASTRO	NO	2	3	1
33	AIDA HASTA	SI	3	2	1
34	ANTONIO GOMEZ	NO	2	3	1
35	MARISOL LOPEZ	NO	3	2	1
36	FLOR TADEO	SI	2	3	1
37	MAGDALENA VILLAR	NO	3	2	1
38	ROSAURA ALFARO	NO	3	2	1
39	DEYSI DELGADO	SI	3	2	1
40	MARIANA MANZANO	NO	3	2	1
41	CRISTINA ARRIBAS	NO	1	2	3
42	VIOLETA DE TONG	SI	1	3	2

Cuadro 23: Resultados de la prueba de grado de satisfacción con escala hedónica

PANELISTA		CELIACO	CÓDIGO DE MUESTRA		
			MUESTRA 111	MUESTRA 222	MUESTRA 333
1	ROY NAPA	NO	5	4	5
2	CRISTINA KISNER	NO	6	4	5
3	CARMEN AYALA	NO	4	3	3
4	MILAGROS RIVAS	SI	6	6	1
5	LESLIE SANCHEZ	NO	5	4	4
6	ANA DURAND	NO	3	3	2
7	MARICIELO PINTADO	SI	6	4	3
8	DIEGO USSEGLIO	NO	6	6	6
9	GHISELLA VÁSQUEZ	NO	4	6	5
10	CLAUDIA ARAUJO	SI	5	4	5
11	RAÚL DEL CASTILLO	NO	5	7	6
12	CONSUELO ESTRELLA	NO	5	5	4
13	HARRY OCHOA	NO	4	5	3
14	BETO HUAMAN	SI	5	6	6
15	FERNANDO ALENYA	NO	3	5	4
16	XIMENA GOMEZ	SI	4	5	2
17	CLARA GONZÁLEZ	NO	4	5	4
18	BLANCA GAMBOA	SI	4	5	3
19	JESUS TONG	NO	5	4	3
20	JOSE ESPINOZA	NO	3	3	4
21	ALEJANDRA LONGA	NO	6	5	7
22	VICTOR PACHECO	NO	3	5	5
23	FIGORELLA ARTETA	SI	3	4	5
24	TATIANA SOTAC	NO	5	5	6
25	MARLUCE COPATI	SI	3	5	6
26	SILVANA PEREZ	NO	5	4	6
27	ANA VÁSQUEZ	NO	5	5	6
28	SARA BERMUDEZ	SI	4	5	6
29	NUBIA ARÉVALO	NO	3	5	6
30	FELIX FLORES	NO	5	4	7
31	CARMEN LOO	SI	2	2	4
32	KATIA CASTRO	NO	5	4	7
33	AIDA HASTA	SI	2	1	5
34	ANTONIO GOMEZ	NO	4	4	5
35	MARISOL LOPEZ	NO	3	4	5
36	FLOR TADEO	SI	3	3	4
37	MAGDALENA VILLAR	NO	2	3	4
38	ROSAURA ALFARO	NO	3	3	4
39	DEYSI DELGADO	SI	7	4	5
40	MARIANA MANZANO	NO	5	4	7
41	CRISTINA ARRIBAS	NO	7	4	3
42	VIOLETA DE TONG	SI	7	6	4

ANEXO 5

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Cuadro 24: Resultados experimentales de las variables respuesta analizadas en pan libre de gluten

N° Formulación	Volumen (cm³/gr)	Estructura (n° alveolos/área)	Contenido Proteico (gr proteína/100gr pan)
1	2,40	27,75	2,37
2	2,23	33,76	5,98
3	2,35	32,88	3,79
4	2,36	28,98	3,00
5	2,17	32,81	6,65
6	2,55	29,29	4,90
7	2,19	28,75	5,68
8	1,72	39,83	5,42
9	1,26	43,45	9,18
10	2,03	35,00	8,44
11	2,36	27,95	2,37
12	1,55	41,11	8,19
13	2,17	28,92	5,68
14	2,34	29,10	7,15
15	1,71	39,49	5,42
16	2,42	28,42	3,00
17	1,24	43,42	9,18
18	2,19	28,95	5,68
19	2,05	34,82	8,44

ANEXO 6

ESTADÍSTICOS DEL DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA VARIABLE VOLUMEN ESPECÍFICO

Cuadro 25: ANVA para el modelo de mezcla cuadrática

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Valor F	P - value Prob > F	
Modelo	2,57	5	0,51	44,82	<0,0001	significativo
Mezcla Lineal	2,14	2	1,07	93,27	<0,0001	
AB	0,019	1	0,019	1,62	0,2254	
AC	0,29	1	0,29	25,24	0,0002	
BC	0,2	1	0,2	17,06	0,0012	
Residual	0,15	13	0,011			
Falta de ajuste	0,15	6	0,024	43,7	<0,0001	significativo
Error puro	3,88 E-03	7	5,54 E-04			

El modelo Valor F de 44,82 implica que el modelo es significativo. Solo hay 0,01 por ciento de probabilidad que un valor F grande pueda ocurrir debido a ruido.

Los valores de "Prob> F" menos de 0,0500 indican que los términos del modelo son significativos.

En este caso A, B, C, AC, BC son condiciones de modelo significativo.

Los valores superiores a 0,1000 indican que las condiciones del modelo no son significativas,

La "falta de ajuste del valor F" de 43,70 implica que la falta de ajuste es significativo. Sólo hay un 0.01 por ciento de probabilidad de que una "falta de ajuste del valor F " grande pueda ocurrir debido al ruido.

ANEXO 7
ESTADÍSTICOS DEL DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA VARIABLE
ESTRUCTURA ALVEOLAR

Cuadro 26: ANVA para el modelo de mezcla cuadrática

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Valor F	P- value Prob > F	
Modelo	2,57	5	0,51	44,82	<0,0001	significativo
Mezcla Lineal	2,14	2	1,07	93,27	<0,0001	
AB	0,019	1	0,019	1,62	0,2254	
AC	0,29	1	0,29	25,24	0,0002	
BC	0,2	1	0,2	17,06	0,0012	
Residual	0,15	13	0,011			
Falta de ajuste	0,15	6	0,024	43,7	<0,0001	significativo
Error puro	3,88 E-03	7	5,54 E-04			

El modelo Valor F de 19,54 implica que el modelo es significativo. Solo hay 0,01 por ciento de probabilidad que un valor F grande pueda ocurrir debido a ruido.

Los valores de "Prob> F" menos de 0,0500 indican que los términos del modelo son significativos.

En este caso A, B, C, AC, BC son condiciones de modelo significativo.

Los valores superiores a 0,1000 indican que las condiciones del modelo no son significativas,

La "falta de ajuste del valor F" de 272,29 implica que la falta de ajuste es significativo. Sólo hay un 0,01 por ciento de probabilidad de que una "falta de ajuste del valor F " grande pueda ocurrir debido al ruido.

ANEXO 8
ESTADÍSTICOS DEL DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA VARIABLE
CONTENIDO PROTEICO

Cuadro 27: ANVA para el modelo de mezcla cuadrática

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Valor F	P - value Prob > F	
Modelo	483,33	5	96,67	19,54	<0,0001	significativo
Mezcla Lineal	382,19	2	191,1	38,64	<0,0001	
AB	17,9	1	17,9	3,62	0,0795	
AC	90,25	1	90,25	18,25	0,0009	
BC	71,94	1	71,94	14,55	0,0022	
Residual	64,3	13	4,95			
Falta de ajuste	64,02	6	10,67	272,29	<0,0001	significativo
Error puro	2,70 E-01	7	3,90 E-02			

El modelo Valor F de 1419,93 implica que el modelo es significativo. Solo hay 0,01 por ciento de probabilidad que un valor F grande pueda ocurrir debido a ruido.

Los valores de "Prob> F" menos de 0,0500 indican que los términos del modelo son significativos.

En este caso A, B, C son condiciones de modelo significativo.

Los valores superiores a 0,1000 indican que las condiciones del modelo no son significativas.

La "falta de ajuste del valor F" de 34433257,68 implica que la falta de ajuste es significativo. Sólo hay un 0,01 por ciento de probabilidad de que una "falta de ajuste del valor F" grande pueda ocurrir debido al ruido.



ANEXO 9

REPRESENTACIONES GRÁFICAS CONSIDERANDO LAS VARIABLES RESPUESTA SOBRE LOS INGREDIENTES PRINCIPALES

Design-Expert® Software
Component Coding: Actual
Desirability
1.000
0.000
X1 = A: Harina
X2 = B: Almidon
X3 = C: Agua

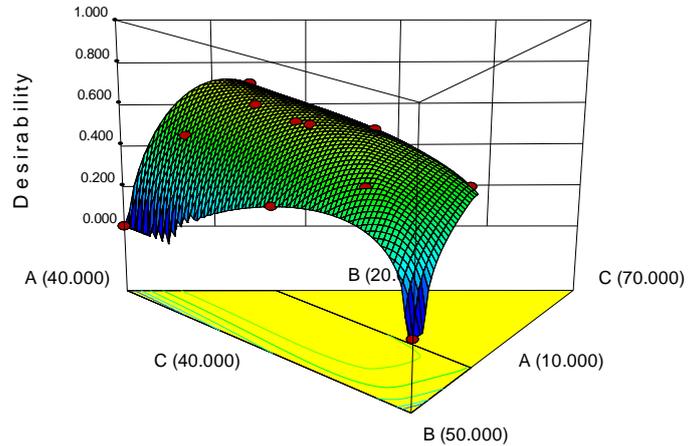


Figura 23: Superficie de respuesta considerando las variables respuesta sobre los niveles (%) de harina de quinua, almidón de papa y agua.

Design-Expert® Software
Component Coding: Actual
Desirability
1.000
0.000
● Design Points
X1 = A: Harina
X2 = B: Almidon
X3 = C: Agua

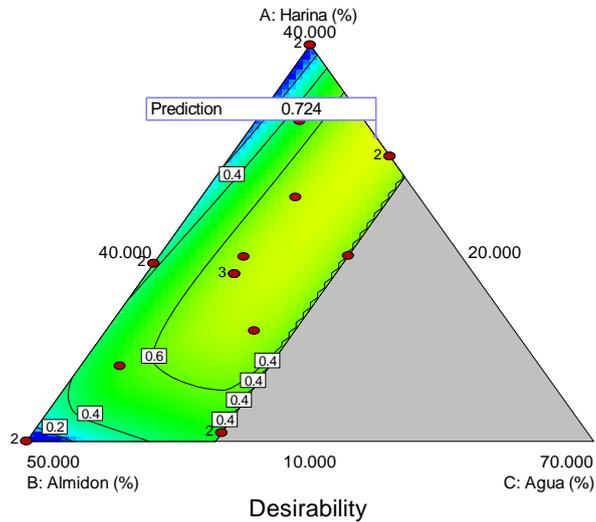


Figura 24: Representación gráfica del diseño de mezclas axial considerando las variables respuesta sobre los niveles (%) de harina de quinua, almidón de papa y agua.

ANEXO 10

INFORME DE VALIDACIÓN

Cuadro 28: Desviación estándar de niveles de ingredientes principales

Nivel de significancia = 95% n = 3

Componente	Nombre	Nivel	Nivel bajo	Nivel Alto	Desviación Estándar	Codificación
A	Harina	33,04	10	40	0	Actual
B	Almidón	20,00	20	50	0	Actual
C	Agua	46,96	40	50	0	Actual

Total =100

Cuadro 29: Desviación estándar de variables respuesta

Variable Respuesta	Promedio	Mediana	Observado	Desviación Estándar	n	Error estándar predicho	95% PI bajo	Promedio de data	95% PI alto
Volumen	2,08	2,08	-	0,11	3	0,09	1,89	1,89	2,27
Estructura	32,98	32,98	-	2,23	3	1,82	29,04	34,54	36,92
Proteína	8,49	8,49	-	0,18	3	0,13	8,22	8,70	8,76