

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
Programa de Doctorado en Ingeniería Agroindustrial



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**Optimización de la formulación de pastas funcionales con
sustitución parcial de harina de trigo por harinas
pseudocereales andinos enriquecido con cushuro**

Tesis para optar el grado de Doctor en Ingeniería Agroindustrial

Autor:

Ms. Vásquez Guzmán, Juan Carlos
Código ORCID: 0000-0002-7112-4006

Asesor:

Dra. Paucar Menacho, Luz María
DNI. N° 08099817
Código ORCID. 0000-0001-5349-6167

CoAsesora

Dra. Martinez Villaluenga, Cristina
Pasaporte: pad915210
Código ORCID: 0000-0002-1155-6464

Línea de investigación
Desarrollo de nuevos productos agroindustriales

Nuevo Chimbote - PERÚ
2026

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Yo, **Dra. Paucar Menacho, Luz María**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la tesis de Maestría titulada: **“Optimización de la formulación de pastas funcionales con sustitución parcial de harina de trigo por harinas de pseudocereales andinos enriquecidos con cushuro”**, elaborado por el **Bach. Vásquez Guzmán, Juan Carlos**, para obtener el Grado de **Doctor en Ingeniería Agroindustrial**, en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, julio del 2026



Dra. Paucar Menacho, Luz María
Asesora

DNI N° 08099817

Código ORCID: 0000-0001-5349-6167



AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO

Tesis de Maestría titulada: **“Optimización de la formulación de pastas funcionales con sustitución parcial de harina de trigo por harinas de pseudocereales andinos enriquecidos con cushuro”**, elaborado por el Bach. Vásquez Guzmán, Juan Carlos

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

Dr. Dominguez Castañeda, Jorge Marino
Presidente

DNI N° 32975182

Código ORCID: 0000-0003-0488-5726

Dr. Sánchez Vaca, Daniel Ángel
Secretario

DNI N° 18146173

Código ORCID 0000-0003-4326-1852

Dra. Paucar Menacho, Luz María
Vocal/Asesora

DNI N° 08099817

Código ORCID: 0000-0001-5349-6167



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

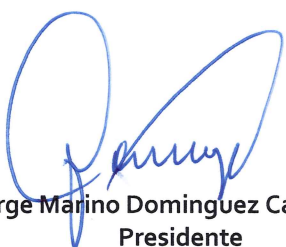
A los veintinueve días del mes de enero del año 2024, siendo las 16:00 horas, en el aula P-01 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 348-2023-EPG-UNS de fecha 21.12.2023, conformado por los docentes: Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda (Presidente), Dr. Daniel Angel Sánchez Vaca (Secretario) y Dra. Luz María Paucar Menacho (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis titulada **"OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE PASTAS FUNCIONALES CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINAS DE PSEUDOCEREALES ANDINOS ENRIQUECIDOS CON CUSHURO"**; presentado por el tesista **Juan Carlos Vásquez Guzmán**, egresado del programa de **Doctorado en Ingeniería Agroindustrial**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 011-2024-EPG-UNS de fecha 17 de enero de 2024.

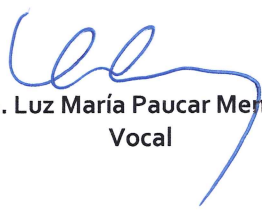
El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO, asignándole la calificación de DIECINUEVE.

Siendo las 18:00 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.


Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda
Presidente


Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca
Secretario


Dra. Luz María Paucar Menacho
Vocal

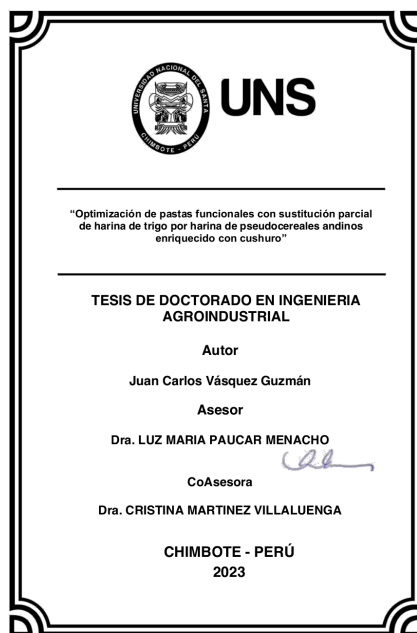


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Juan Carlos VASQUEZ GUZMAN
Título del ejercicio: tesis
Título de la entrega: TESIS PASTAS ALIMENTICIAS
Nombre del archivo: TESIS_FINAL_DOCTORAL_JCVG_260124.pdf
Tamaño del archivo: 5.81M
Total páginas: 170
Total de palabras: 34,027
Total de caracteres: 173,535
Fecha de entrega: 02-ago-2026 11:41a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2959115062



TESIS PASTAS ALIMENTICIAS

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe	8%
	Fuente de Internet	
2	digital.csic.es	2%
	Fuente de Internet	
3	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
4	1library.co	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.unsch.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	repositorio.unaj.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
7	sedici.unlp.edu.ar	<1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.unal.edu.co	<1%
	Fuente de Internet	
9	core.ac.uk	<1%
	Fuente de Internet	
10	repositorio.lamolina.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
11	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
12	repositorio.inia.gob.pe	<1%
	Fuente de Internet	
13	www.elsevier.es	<1%
	Fuente de Internet	
14	repositorio.udch.edu.pe:4000	<1%
	Fuente de Internet	
15	repositorio.uss.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación fue subvencionado por el CONCYTEC a través del programa PROCIENCIA según contrato N° 119-2020-FONDECYT.

A mi asesora de tesis, Dra. Luz María Paucar Menacho, por su guía y apoyo en la realización de esta investigación.

A mi coasesora Dra. Cristina Martínez Villaluenga, por sus orientaciones y contribuciones al desarrollo de esta tesis.

DEDICATORIA

A mis cuatro tesoros, mis hijos Rodrigo,
Rebeca, Anghely y Sebastian, que son el
motor y motivo de mi vida, los amo mucho.

A mi tía mamá Dra. Magna Guzmán Avalos
(tía Tulita) por su apoyo incondicional en este
logro académico, sin su apoyo y consejos
no hubiera sido posible tal realización, de
corazón muchas gracias querida tía,
la quiero mucho.

A mi compañera y amor de mi vida,
tu amor y apoyo ha sido la base de nuestro
hogar. Esta tesis es un tributo a la colaboración,
paciencia y comprensión que has brindado a
lo largo de este viaje académico. Gracias
por ser un pilar de fortaleza y un ejemplo
para nuestros hijos. Tu presencia en mi vida
es un regalo invaluable, y este logro es
nuestro, en equipo.

IN MEMORIAN

En honor a mi abuelita Agripina, mi madre Nery y mi tía Berthita, me criaron y forjaron en el camino del estudio, responsabilidad y disciplina. Fueron mi fuente de inspiración y sabiduría. Aunque ya no estén físicamente conmigo, su espíritu y amor continúan guiándome en cada paso de este camino.

ÍNDICE

	Pág.
INDICE DE TABLAS	5
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	7
AGRADECIMIENTOS	10
DEDICATORIA.....	11
IN MEMORIAN	12
RESUMEN.....	13
ABSTRAC.....	14
INTRODUCCIÓN	15
PLAN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.1. Planteamiento y fundamentación del problema de investigación	16
1.2. Antecedentes de la investigación	17
1.3. Formulación del problema.....	20
1.4. Delimitación del estudio:	20
1.5. Justificación e importancia	20
1.6. Objetivos de la investigación.....	21
CAPITULO II	23
MARCO TEÓRICO	23
2.1. Fundamentos teóricos de la investigación:.....	23
2.2. Marco Conceptual	31
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN:	34

3.1. Hipótesis central de la investigación:	34
3.2. Variables e indicadores de la investigación:	34
3.3. Método de la investigación	35
3.4. Diseño	35
3.5. Población y muestra	38
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
3.7. Procedimiento de la recolección de datos	41
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de los resultados	42
RESULTADOS Y DISCUCIONES	43
4.1. Obtención de harina de cushuro (<i>Nostoc sphaericum</i>) y harinas de granos germinados de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) y quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>)	43
4.2. Composición proximal de las harinas de cushuro (<i>Nostoc sphaericum</i>) y de las harinas de granos germinados de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) y quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>)	49
4.2.1.Composición proximal de las harinas de granos germinados de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) y quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>)	49
4.2.2.Composición proximal de la harina de Cushuro (<i>Nostoc sphaericum</i>)	52
4.2.3.Antinutrientes (ácido fítico), compuestos bioactivos (compuestos fenólicos y GABA) y capacidad antioxidante presente en las harinas de granos germinados de kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) y quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>)	56
4.3. Caracterización reológica de la harina de trigo (<i>T. aestivum</i>)	59
4.4. Optimización de la sustitución de harina trigo por harina de cushuro (<i>Nostoc sphaericum</i>) y harina de granos germinados de kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) y quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>) en función de las características tecnológicas de las pastas formuladas, los antinutrientes, compuestos bioactivos, y capacidad antioxidante.	61

4.4.1.Optimización de la pasta con sustitución de harina trigo por harina de cushuro (<i>Nostoc sphaericum</i>) y harina quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>) germinada.....	62
4.4.2.Optimización de la pasta con sustitución de harina trigo por harina de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) germinada y harina de cushuro (<i>Nostoc sphaericum</i>).....	91
4.5. Análisis sensorial de las pastas óptimas:	113
4.6. Determinación de la vida útil:	119
4.6.1.Determinación de la vida útil para PKC (pasta con kiwicha germinada y cushuro):.....	119
4.6.2.Determinación de la vida útil para PQC (pasta con quinua germinada y cushuro):.....	120
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
5.1. CONCLUSIONES:	123
5.2. RECOMENDACIONES:	124
BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXOS.....	138

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición nutricional de la quinua	24
Tabla 2: Contenido de aminoácidos esenciales en quinua (g/100 g proteína)	25
Tabla 3: Contenido nutricional de la semilla y la harina cruda de amaranto	26
Tabla 4: Contenido de fenoles totales y flavonoides de las semillas sin germinar y germinadas de cuatro variedades de <i>Amaranthus caudatus</i> L. “kiwicha”.	29
Tabla 5: Matriz de experimentos para pasta con sustitución de harina de quinua germinada y harina de cushuro (Diseño simplex centroide)	36
Tabla 6: Matriz de experimentos para pasta con sustitución de harina de kiwicha germinada y harina de cushuro (Diseño simplex centroide)	37
Tabla 7: Indicadores de pérdida de calidad y límites críticos	41
Tabla 8: Balance de materia de la elaboración de harina de kiwicha germinada.....	45
Tabla 9: Balance de materia para la elaboración de harina de quinua germinada	47
Tabla 10: Balance de materia para la elaboración de harina de cushuro:.....	49
Tabla 11: Composición proximal de las harinas de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) germinadas y quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>).....	50
Tabla 12: Composición proximal y compuestos bioactivos de la harina de cushuro (<i>Nostoc sphaericum</i>).....	52
Tabla 13: Antinutrientes, compuestos fenólicos, GABA y capacidad antioxidante en las harinas de semillas sin germinar y germinadas.	57
Tabla 14: Calidad tecnológica de la pasta con sustitución parcial de HQG y harina de cushuro.....	63
Tabla 15: Análisis de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fítico de las pastas para diferentes formulaciones.	79
Tabla 16: Optimización conjunta de la pasta con sustitución de HQG y harina de cushuro	90
Tabla 17: Calidad tecnológica de la pasta con sustitución parcial de HKG y harina de cushuro.....	92

Tabla 18: Análisis de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fítico de las pastas para diferentes formulaciones.	103
Tabla 19: Optimización conjunta de la pasta con sustitución de HKG y harina de cushuro	112
Tabla 20: Etapa 2 del análisis sensorial.....	114
Tabla 21: Atributos CATA.....	116
Tabla 22: Prueba Q de Cochran	117
Tabla 23: Puntaje por tiempo de almacenamiento de la pasta PKC.....	119
Tabla 24: Regresión lineal de los puntajes de los indicadores PKC	120
Tabla 25: Tiempo de vida útil e indicador crítico.	120
Tabla 26: Puntaje por tiempo de almacenamiento de la pasta PQC	121
Tabla 27: Regresión lineal de los puntajes de los indicadores PQC	121
Tabla 28: Tiempo de vida útil e indicador crítico.	122

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Granos de quinua.....	23
Ilustración 2: Representación esquemática de las principales actividades biológicas de <i>Amaranthus caudatus</i>	25
Ilustración 3: Kiwicha variedad centenario	27
Ilustración 5: Panecillos multicereales sin germinar (izquierda) y panecillos multicereales germinados (derecha), preparados de masa congelada.	30
Ilustración 6: Diagrama de bloques de elaboración de harinas de Kiwicha germinada (<i>Amaranthus caudatus</i>).....	44
Ilustración 7: Diagrama de bloques de elaboración de harina de quinua germinada (<i>Chenopodium quinoa</i>).....	46
Ilustración 8: Diagrama de bloques para la elaboración de harina de cushuro (<i>Nostoc sphaericum</i>).....	48
Ilustración 9: Farinograma de harina de trigo.....	60
Ilustración 10: Proceso de elaboración de las pastas alimenticias.....	62
Ilustración 11: Formulaciones de la pasta con sustitución de HQG y harina de cushuro .	64
Ilustración 12: Gráfico de superficie de respuesta para componente a del color instrumental de la pasta con HQG.....	65
Ilustración 13: Gráfico de contornos para componente a del color instrumental de la pasta con HQG.....	66
Ilustración 14: Gráfico de superficie de respuesta para componente b del color instrumental de la pasta con HQG.....	66
Ilustración 15: Gráfico de contornos para componente b del color	67
Ilustración 16: Gráfico de superficie de respuesta para el tiempo de cocción de la pasta con HQG.....	68
Ilustración 17: Gráfico de contornos para el tiempo de cocción de la pasta con HQG	69

Ilustración 18: Gráfico de superficie de respuesta para el aumento de peso de la pasta con HQG.....	70
Ilustración 19: Gráfico de contornos para el aumento de peso de la pasta con HQG	71
Ilustración 20: Gráfico de superficie de respuesta para la pérdida de sólidos de la pasta con HQG.....	72
Ilustración 21: Gráfico de contornos para la pérdida de sólidos de la pasta con HQG	73
Ilustración 22: Gráfico de superficie de respuesta para la firmeza de la pasta con HQG.	74
Ilustración 23: Gráfico de contornos para la firmeza de la pasta con HQG	75
Ilustración 24: Gráfico de superficie de respuesta para la fuerza de rotura de la pasta con HQG.....	76
Ilustración 25: Gráfico de superficie de respuesta para la fuerza de rotura de la pasta con HQG.....	77
Ilustración 26: Gráfico de superficie respuesta para TPC de la pasta formulada con HQG	80
Ilustración 27: Gráfico de contornos para TPC de la pasta formulada con HQG.....	81
Ilustración 28: Grafico de superficie respuesta para contenido de GABA en pasta con sustitución de HQG	82
Ilustración 29: Gráfico de contornos para contenido de GABA en pastas con sustitución de HQG.....	83
Ilustración 30: Gráfico de superficie respuesta para contenido de ORAC en pasta con sustitución de HQG	85
Ilustración 31: Gráfico de contornos para contenido de ORAC en pastas con sustitución de HQG.....	85
Ilustración 32: Gráfico de superficie respuesta para contenido de ácido fítico en pasta con sustitución de HQG	87
Ilustración 33: Gráfico de contornos para contenido de ácido fítico en pastas con sustitución de HQG	87
Ilustración 34: Formulaciones de la pasta con sustitución de HKG y harina de cushuro .	93

Ilustración 35: Gráfico de superficie de respuesta para el aumento de peso de la pasta con HKG	97
Ilustración 36: Gráfico de contornos para el aumento de peso de la pasta con HKG	97
Ilustración 37: Gráfico de superficie de respuesta para firmeza de la pasta con HKG ...	100
Ilustración 38: Gráfico de contornos para firmeza de la pasta con HKG	100
Ilustración 39: Gráfico de superficie de respuesta para fuerza de rotura de la pasta con HKG	101
Ilustración 40: Gráfico de contornos para fuerza de rotura de la pasta con HKG	102
Ilustración 41: Gráfico de superficie respuesta para contenido de GABA en pasta con sustitución de HKG	104
Ilustración 42: Gráfico de contornos para contenido de GABA en pastas con sustitución de HKG	105
Ilustración 43: Gráfico de superficie respuesta para ORAC de la pasta formulada con HKG	107
Ilustración 44: Gráfico de contornos para ORAC de la pasta formulada con HKG	108
Ilustración 45: Gráfico de superficie respuesta para contenido de ácido fítico en pasta con sustitución de HKG	110
Ilustración 46: Gráfico de contornos para contenido de ácido fítico en pastas con sustitución de HKG	110
Ilustración 47: Ficha informativa preliminar al análisis sensorial	113
Ilustración 48: Mapa sensorial mediante el análisis de correspondencia.....	118
Ilustración 49: Regresión lineal de los indicadores PQC	121

RESUMEN

En este estudio el objetivo fue optimizar la formulación de pastas compuestas de harina pseudocereales germinados y harina de cushuro, para maximizar los compuestos fenólicos solubles totales (TSPC), ácido γ -aminobutírico (GABA), actividad antioxidante y bioaccesibilidad mineral al reducir el contenido de ácido fítico (PA), sin afectar las características tecnológicas como son tiempo de cocción, % aumento de volumen, % pérdida de sólidos, color instrumental, firmeza y fuerza de rotura. Se obtuvieron dos formulaciones óptimas: una compuesta por 70 % de harina de trigo, 15% de harina de kiwicha germinada y 15% de harina de cushuro, y la otra conformada por 80% de harina de trigo, 15% de harina de quinua germinada y 5% de harina de cushuro. Se obtuvo una aceptación de “me gusta ligeramente”, siendo los descriptores sensoriales referidos a la textura y el color más frecuentes. La vida útil determinada para la pasta con kiwicha germinada y cushuro fue de 5.26 meses, mientras que para la pasta con harina de quinua germinada y cushuro fue de 5.03 meses. Los resultados demuestran que la incorporación de pseudocereales germinados y harina de cushuro proporcionan una pasta innovadora y prometedora, con mayor calidad nutricional que las pastas tradicionales.

Palabras clave: compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, antinutriente, cata, vida útil

ABSTRAC

In this study, the objective was to optimize the formulation of pasta composed of sprouted pseudocereal flour and cushuro flour, to maximize total soluble phenolic compounds (TSPC), γaminobutyric acid (GABA), antioxidant activity and mineral bioaccessibility by reducing the phytic acid content. (PA), without affecting the technological characteristics such as cooking time, % increase in volume, % loss of solids, instrumental color, firmness and breaking strength. Two optimal formulations were obtained: one composed of 70% wheat flour, 15% germinated kiwicha flour and 15% cushuro flour, and the other composed of 80% wheat flour, 15% germinated quinoa flour. and 5% cushuro flour. An acceptance of “I like it slightly” was obtained, with the sensory descriptors referring to texture and color being the most frequent. The shelf life determined for the pasta with germinated kiwicha and cushuro was 5.26 months, while for the pasta with germinated quinoa flour and cushuro it was 5.03 months. The results show that the incorporation of sprouted pseudocereals and cushuro flour provide an innovative and promising pasta, with higher nutritional quality than traditional pasta.

Keywords: bioactive compounds, antioxidant capacity, antinutrient, tasting, shelf life

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es evidente el incremento de enfermedades a nivel mundial, donde una de las causas principales es la mala alimentación. Según la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar (ENDES), al 40.1% de niñas y niños de 6 a 35 meses de edad en nuestro país, padecieron de anemia en el año 2019; por área de residencia, la anemia fue más frecuente en el área rural con 49.0%, que en el área urbana con 36.7%; mientras que, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2019 la desnutrición crónica afectó al 12.2% de niñas y niños menores de cinco años de edad. (INEI, 2019).

Por lo que fomentar una alimentación sana, donde los productos que se consumen sean nutritivos y que además contribuyan positivamente sobre la salud es primordial. Unos de estos alimentos son los granos andinos germinados (Kiwicha y quinua) y el cushuro, que en años recientes han tomado notoriedad, siendo incorporados en la dieta debido al importante aporte de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y también minerales (hierro) por parte del cushuro.

Entre los alimentos de mayor consumo se incluye la pasta, por ser un alimento de bajo costo, buena aceptabilidad, facilidad de preparación y almacenamiento; puede lograr incrementar su potencial agregando materias primas que eleven su perfil nutricional (Vedia et al., 2016). Pseudocereales como la quinua y kiwicha son los propicios para fortalecer este tipo de productos, más aún si estos son potenciados mediante tecnologías verdes como la germinación. Por lo expuesto el objetivo de la presente investigación es obtener pastas a base de pseudocereales germinados fortificados con cushuro de buena calidad y aceptabilidad.

CAPÍTULO I

PLAN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento y fundamentación del problema de investigación

El desarrollo humano se fundamenta en la satisfacción de las necesidades básicas de alimentación y nutrición. Cuando estas necesidades no son cumplidas, se generan enfermedades que obstaculizan el crecimiento y desarrollo, representando un obstáculo para lograr el máximo nivel de salud y bienestar.

En la actualidad, se observa un preocupante incremento de enfermedades a nivel mundial, donde una de las causas principales es la mala alimentación. Según la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar (ENDES), en el año 2019 al 40,1% de niñas y niños de 6 a 35 meses de edad en Perú, fueron diagnosticados con anemia. Además, según los estándares de la OMS, en el año 2019 la desnutrición crónica afectó al 12,2% de niñas y niños menores de cinco años de edad (INEI, 2019).

Por lo tanto, fomentar una alimentación sana, centrada en productos nutritivos que contribuyan positivamente en la salud es primordial. Destacan entre estos alimentos los granos andinos germinados (Kiwicha y quinua) y el cushuro, que en los últimos años han tomado notoriedad y son cada vez más consumidos. Esto se debe a su importante aporte de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y minerales como el hierro en el caso del cushuro.

En el mercado nacional, es común encontrar pastas elaboradas principalmente a base de trigo, las cuales aportan principalmente carbohidratos y macronutrientes. Por ello se pretende alcanzar la formulación óptima para pastas de consumo masivo, con contenidos importantes de antioxidantes, compuestos bioactivos y minerales, de tal manera que se cumplan los requerimientos necesarios para el desarrollo.

1.2. Antecedentes de la investigación

La investigación de Hassan et al. (2020) se centra en explorar el efecto de la germinación de compuestos fenólicos y saponinas. Este estudio analiza diversos metabolitos, entre ellos compuestos fenólicos (flavonoides y ácidos fenólicos), saponinas, alcaloides, aminoácidos, nucleósidos, ácidos orgánicos, azúcares y jasmonato. Los resultados revelaron que la germinación incrementó las concentraciones de flavonoides, ácidos fenólicos y saponinas. Adicionalmente, se observó un aumento del rendimiento (%) de extracción, así como del contenido total de compuestos fenólicos (TPC) y actividad antioxidante medida por la capacidad de atrapar el radical DPPH durante la con la brotación. Cabe destacar que tanto los TPC como las proporciones relativas de flavonas, saponinas y aminoácidos mostraron una correlación positiva con la actividad antioxidante medida por el ensayo de DPPH.

Paucar-Menacho et al. (2017, 2018) llevó a cabo estudios empleando la germinación controlada de pseudocereales para mejorar de forma natural el perfil nutricional y nutracéutico de granos de kiwicha y quinua. Los resultados del estudio revelaron que la temperatura y el tiempo óptimo de germinación fueron de 26 °C y 63 horas, respectivamente. En estas condiciones se observó un notable aumento de GABA, TPC y actividad antioxidante, registrándose aumentos de 29.1, 4.0 y 6.4 veces, respectivamente en granos de kiwicha. Para el caso de la quinua los parámetros óptimos para maximizar los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante fueron de 20 °C durante 42 h. En estas condiciones mostraron incrementos de 80% y 30% en compuestos fenólicos y actividad antioxidante, respectivamente, con respecto a las semillas sin germinar.

Asimismo, Aparicio et al. (2020) señala un interés creciente en el desarrollo de harinas a partir de cereales germinados motivado por su mayor potencial nutricional y bioactivo. No obstante, destaca que este campo de investigación ha sido poco explorado hasta el momento. En el marco de la investigación, se evaluaron

temperaturas y tiempos de germinación comprendidos entre 12 a 20 °C y 24 a 216 h, respectivamente, en variedades de avena descascarada y no descascarada. Los resultados revelaron que la germinación tuvo un impacto significativo en el aumento de los fenólicos libres, la capacidad antioxidante, la hidrólisis de proteínas y la actividad de la α -amilasa en las harinas de avena, destacando particularmente en condiciones de temperaturas más elevadas y tiempos más prolongados.

Con respecto al cushuro, Alvarado et al. (2017), llevaron a cabo una investigación sobre el efecto del consumo de cushuro en ratas de variedad Sprague Dawley con anemia inducida. En dicho estudio, los animales se sometieron a una dieta baja en hierro por 4 semanas para inducir la anemia. Posteriormente, se distribuyeron en 4 grupos: blanco, control, experimental con 2.0 g cushuro/kg peso corporal/día y experimental con 1.0 g cushuro/Kg peso corporal/día, con 4 animales en cada tratamiento. Cada grupo experimental fue sometido a extracciones de sangre de la cola 5 veces por semana, seguido de un segundo análisis para determinar la presencia de anemia. Destaca que tanto para el tratamiento con sulfato ferroso y cushuro mostraron incrementos similares en la concentración de hemoglobina (g/dl). Los autores recomendaron realizar estudios posteriores que aborden un periodo de tratamiento más extenso.

Asimismo, Alegre et al. (2020) determinó que por cada 100 g de cushuro (*Nostoc sphaericum*) pulverizado contenía un $26.68 \pm 0.01\%$ de proteínas, $0.21 \pm 0.03\%$ de grasa, $5.77 \pm 0.11\%$ de fibra cruda, $11.23 \pm 0.42\%$ de humedad, $7.77 \pm 0.01\%$ de ceniza y una cantidad de hierro de 15.72 ± 2.07 mg/100g de muestra seca. Por lo que concluye que podría tener un valor importante en la dieta, por su elevado aporte de proteínas y hierro.

López-Mejía y Morales (2020), optimizaron la formulación de tallarines libres de gluten, empleando harina de zapallo deshidratado, harina de maíz y de arroz. Emplearon un diseño de mezclas simplex, teniendo como variables el análisis proximal, esfuerzo a la fractura, calidad de cocción, color CIEL*a*b*, aceptación

sensorial y la microestructura del tallarín seco, obtuvieron como parámetros con mayor R^2 a la masticabilidad sensorial y la ganancia de peso durante la cocción.

Valle (2019) desarrolló una pasta a base de harina de arroz (HA) y harina de frijol biofortificado (HF), se evaluaron los parámetros tecnológicos, fisicoquímicos y sensoriales. Reportó que las pastas obtuvieron una aceptación sensorial de “no me gusta ni me disgusta”, y que pastas con proporción de 70:30 y 60:40 de HA:HF mostraron niveles altos de hierro y zinc, cubriendo más del 20% del valor diario.

Panza et al. (2023), elaboró pastas artesanales con subproductos vegetales, como residuos de brócoli, cáscaras de granada y subproductos del aceite de oliva, logrando demostrar que la adición de estos insumos incrementa los compuestos polifenólicos, los flavonoides y la actividad antioxidante, incluso alarga la vida en anaquel. Dejando ver el empleo de subproductos como alternativa provechosa nutricional y tecnológicamente.

De la Cruz (2020) empleó harina de quinua y harina de chontaduro para obtener pastas con mayor contenido de minerales y lisina, además de importantes contenidos de proteína y grasa total. Informó que estas pastas fueron mejor aceptadas sensorialmente en cuanto el color, además de presentar una buena capacidad de retención de agua, logrando obtener productos nutricional, microbiológica y sensorialmente aptos.

Pinares (2019) optimizó una pasta con sustitución de harina de tarwi y cáscara de huevo en polvo aplicando un diseño compuesto central rotacional, siendo esta formulación de 10% de harina de tarwi y 1% de cáscara de huevo en polvo. Dicha pasta optimizada obtuvo un puntaje sensorial de 5.5, es decir entre “me gusta poco” y “me gusta moderadamente”, además de mostrar un mejor perfil nutricional con respecto a la muestra sin sustitución, y buenas características tecnológicas como son el tiempo de cocción y aumento de peso.

1.3. Formulación del problema

¿Cuál es la formulación óptima de una pasta funcional, a partir de harina de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y quinua (*Chenopodium quinoa*) germinada y harina de cushuro, para maximizar el contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante sin comprometer las propiedades tecnológicas de las pastas alimenticias?

1.4. Delimitación del estudio:

Teniendo ya planteado y fundamentado el problema de investigación, la delimitación se llevó a cabo como se detalla:

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Región Ancash, específicamente en el distrito de Nuevo Chimbote.

En Nuevo Chimbote (Universidad Nacional del Santa) se realizaron la elaboración de las pastas alimenticias y los análisis fisicoquímicos y sensoriales a dichos productos y en el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (ICTAN) de España se realizaron los análisis de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.

El período en que se realizó esta investigación comprendió febrero de 2022 a octubre de 2023.

1.5. Justificación e importancia

En la actualidad la población está adquiriendo una creciente conciencia acerca de la importancia de una alimentación de calidad, que no solo sea rica en nutrientes, sino que también ofrezca un excelente sabor y sea económicamente accesible. Las pastas son un alimento de consumo masivo por su accesibilidad, fácil preparación y bajo costo. Por ello, lo que se busca en esta investigación es optimizar la formulación de una pasta innovadora, empleando harina de pseudocereales andinos germinados y harina de cushuro, dado sus beneficios nutricionales estudiados; de modo que ésta brinde, en comparación a las pastas comerciales

elaboradas solo a base de harina de trigo, mayor contenido de compuestos bioactivos y minerales, sin afectar negativamente sus características tecnológicas. La elaboración de esta pasta ofrece una alternativa para la industrialización de las harinas de granos andinos germinados y del cushuro. Convirtiéndose en un recurso clave para mejorar la nutrición y contrarestar el estrés oxidativo y la formación de radicales libres en el organismo. Este enfoque no solo busca ofrecer opciones más saludables a la población general, sino que también podrían integrarse en programas sociales específicos de nuestro país, dirigidos específicamente a los niños en edad escolar. De esta manera, se promovería activamente la adopción de hábitos alimenticios más saludables desde temprana edad.

1.6. Objetivos de la investigación

1.6.1. Objetivo general

Optimizar la formulación de una pasta alimenticia funcional mediante la incorporación de harina de pseudocereales andinos germinados y cushuro.

1.6.2. Objetivos específicos

- Determinar el rendimiento, composición proximal y compuestos bioactivos de las harinas de cushuro y harina de pseudocereales andinos germinados y sin germinar.
- Determinar las características tecnológicas, el ácido fítico, los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de las pastas funcionales elaboradas para cada mezcla según diseño de mezclas simplex con centroide más un control de pastas.
- Optimizar la sustitución de harina de trigo por harina de granos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa*) var. Pasankalla, de Kiwicha (*Amarantus caudatus*) var. Centenario germinada y harina de cushuro (*Nostoc sphaericum*) para la elaboración de pastas alimenticias.

- Determinar la aceptación de las pastas óptimas mediante un análisis sensorial.
- Determinar la vida útil de cada una de las pastas óptimas.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos teóricos de la investigación:

Junzhou Ding y Hao Feng (2019), destacan que, a nivel mundial, cereales como el trigo, el arroz, el maíz, la avena, la cebada, el centeno, el sorgo, el mijo, el trigo sarraceno y la quinua son cultivados para la producción de alimentos dietéticos y se consumen enteros, pulidos o molidos. Asimismo, resaltan que investigaciones recientes en nutrición y epidemiología respaldan los beneficios para la salud humana asociados al consumo de, lo que ha llevado a un notable aumento en su consumo.

En la región Andina y en particular el Altiplano que comparten Perú y Bolivia, pervive la quinua, a pesar de poseer una de las ecologías más desafiantes para la agricultura moderna (Ñahuero, 2018). La quinua (*Chenopodium quinoa*) es un pseudocereal que destaca por su notable valor nutricional, caracterizado por valores elevados de proteínas y aminoácidos esenciales como se muestra en la tabla 1. Debido a estas propiedades, la quinua se ha convertido en un ingrediente fundamental en la elaboración de harina, galletas y confitería (Sezgin et al., 2019, como se citó en León et al., 2021).



Ilustración 1: Granos de quinua

Fuente: MINAGRI, 2018

Originaria de la zona andina, la quinua es un cultivo que se distingue por su excepcional valor nutricional con un contenido en proteínas del 12 % y 16 %, y un

contenido de aminoácidos esenciales muy conveniente con alto contenido de lisina, como puede observarse en la tabla 2. El procesamiento agroindustrial emerge como un factor relevante para el desarrollo comercial de la quinua, lo que incentivaría al agricultor a mejorar la productividad y la calidad de su cultivo, lo que, a su vez, impulsa el aumento de la superficie cultivada (Ñahuelo, 2018).

Tabla 1: Composición nutricional de la quinua

Autor	Componentes (%)				
	Proteína	Grasa	Ceniza	Fibra	Carboh.
Tapia, 1990.	11-21.3				
Kozioł, 1992.	13.8-16,5				
Ruales y Nair, 1992.	14.10	9.70	3.40		72.50
Romero, 2006, citado por Mujica et al., 2006.	9.6-22.1				
Morón, 1999 citado por Murillo y Mujica, 2013.	11.70	6.3	2.80	5.20	68.00
Bravo, 2013.	12.94	7.83	3.05	4.58	
Gonzales et al., 1989,		4	3		
Repo-Carrasco, 1992.		6	2.90		72.60
Alvares-Jubete et al., 2009.		5.20	2.70		64.20
Romero, 1981 citado por Mujica et al., 2006.		1.8-8.2	2.4-9.7	1.1-5.8	46.0-77.4

Fuente: Pazúa, 2017

Un elemento a resaltar es el alto valor de metionina, treonina, lisina y triptófano en la quinua. Estos aminoácidos son considerados limitantes (nunca son sustituidos totalmente) en otros cereales (Vargas et al, 2019).

Tabla 2: Contenido de aminoácidos esenciales en quinua (g/100 g proteína)

<i>Aminoácido</i>	<i>(Dini y col.,1992)</i>	<i>(Koziol, 1992)</i>	<i>(Repo-Carrasco y col., 2003)</i>	<i>(Wright y col.,2002)</i>	Media
Histidina	2,0	3,2	2,7	3,1	2,75
Isoleucina	7,4	4,4	3,4	3,3	4,63
Leucina	7,5	6,6	6,1	5,8	6,5
Metionina + Cistina	4,5	4,8	4,8	2,0*	4,7
Fenilalanina + Tirosina	7,5	7,3	6,2	6,2	6,8
Treonina	3,5	3,8	3,4	2,5	3,3
Valina	6,0	4,5	4,2	4,0	4,68
Lisina	4,6	6,1	5,6	6,1	5,6
Triptófano	ND	1,2	1,1	ND	1,15

ND = no detectado* = Solo Metionina informada

Fuente: Vargas et al., 2019

De igual manera que la quinua, la Kiwicha es un grano andino que crece en condiciones adversas. Los amarantos son un grupo líder entre los pseudocereales que poseen la gran potencialidad de prevenir la desnutrición sobre todo en países de bajos ingresos con escasez de alimentos. (Martinez-Lopez et al., 2020).

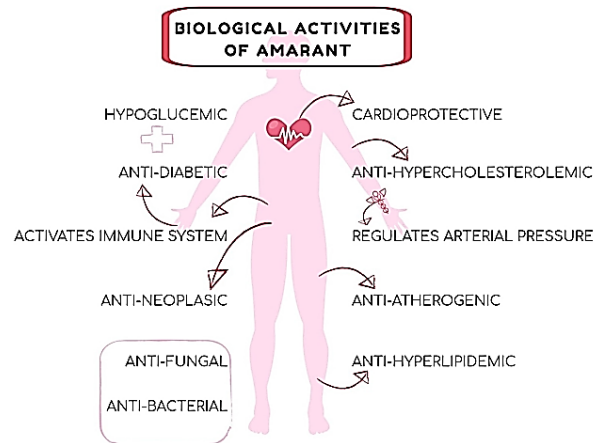


Ilustración 2: Representación esquemática de las principales actividades biológicas de *Amaranthus caudatus*.

Fuente: Martínez-López et al., 2020

Este grano ha experimentado un resurgimiento de su valorización por sus propiedades nutricionales y beneficios para la salud que ofrece al ser consumido

como un cereal integral. Es resaltante su elevada concentración de proteínas, especialmente ricas en lisina, metionina, y cisteína. Además, contiene ácidos grasos insaturados, fibra y minerales. La proporción de carbohidratos en este grano varía entre el 55,5 a 71,5 % (Chamorro et al., 2018). En su estudio sobre el valor nutraceútico de la Kiwicha, Martinez-Lopez (2020) concluyó que los ácidos fenólicos totales en varios ecotipos de amaranto de Perú oscilan entre 18,3 y 40,1 mg/100 g y entre 16,8 y 32,9 mg/100 g (peso seco).

Tabla 3: Contenido nutricional de la semilla y la harina cruda de amaranto

Nutrient	Raw amaranth	Raw amaranth flour (Chauhan et al., 2015)	Raw amaranth seed (Montoya-Rodríguez et al., 2015)	Raw amaranth flour (Tapia-Blacido et al., 2007)
Moisture (g/100 g)	11.29 g	8.13 ± 0.05		7.97 ± 0.18
Energy (kcal/kJ)	371/1554	369.96/1546.43*	393/1642.74*	436.09/1822.85*
Protein (g/100 g)	13.56	15.05 ± 0.05	13–19	14.21 ± 0.77
Fat (g/100 g)	7.02	6.68 ± 0.08	5–13	8.93 ± 0.03
Ash (g/100 g)	2.88	2.91 ± 0.08		2.14 ± 0.03
Carbohydrate (g/100 g)	65.25	62.41 ± 0.03		
Sugar (g/100 g)	1.69			
Starch (g/100 g)	57.27		62	74.72
Total dietary fiber (g/100 g)	6.70	9.52 ± 0.02		

* Calculated value from protein, fat and carbohydrate or starch reported values.

Fuente: Martinez-Lopez, 2020

La composición de aminoácidos del grano de kiwicha cuando se compara con el patrón del FAO/OMS 1973 (huevo), muestra una proteína de buena calidad con valores elevados para todos los aminoácidos. Es particularmente notable el contenido destacado de lisina, alcanzando un 50 % más en comparación con los cereales comunes, los cuales suelen ser deficientes en este aminoácido. Además, se destaca la presencia de triptófano, un aminoácido generalmente deficiente en las leguminosas de grano, pero presente en cantidades considerables en las semillas de kiwicha (Mamani y Quispe, 2017)



Ilustración 3: Kiwicha variedad centenario

Fuente: INIA, 2012

La germinación controlada se posiciona como uno de los métodos eficaces para mejorar el valor nutricional de los cereales integrales. Este proceso fisiológico complejo comienza con la absorción de agua por la semilla en reposo y termina con la protuberancia de la radícula a través de las capas que cubren la semilla (Pham Anh Tuan et al., 2019).

La germinación está acompañada de una serie de transformaciones junto al desarrollo del embrión, incluyendo la síntesis de nuevos tejidos, la respiración y el crecimiento de la plúmula y de las raicillas. Durante este proceso, el embrión necesita sustancias que facilitan el crecimiento (materias nitrogenadas, glucídicas y minerales) y sustancias energéticas (glúcidos, lípidos), las cuales son extraídas de las reservas del endospermo. Las proteínas de reserva del grano son hidrolizadas en polipéptidos, péptidos y aminoácidos. (Ñahuero, 2018)

Es importante saber que, para activar el crecimiento de las semillas, la humedad debe estar entre el 40 y el 45%; El control de la temperatura también es importante; el grado de éste depende de la semilla que se esté germinando, normalmente entre 20 y 26°C; Finalmente, se cree que para que lograr el éxito es necesario

comprobar la cantidad de oxígeno disuelto (O₂) en el agua del permeado para que este elemento llegue a la pieza de trabajo (Cruz, 2017).

El contenido de humedad de los granos germinados oscila entre 35% y 60% en términos de base húmeda. La presencia de agua en los granos germinados afecta la calidad influyendo en la capacidad de almacenamiento y dificultando el proceso de molienda. Otro punto a tener en cuenta es la temperatura de almacenamiento de los granos germinados, la cual debe ser aproximadamente de 18°C, lo que ayuda a disminuir la tasa de respiración y prolongar la vida útil (Dziki y Gawlik-Dziki, 2019). Los granos germinados exhiben bioactividad, como actividades antioxidantes, antidiabéticas y anticancerígenas. Por ello, la germinación se posiciona como una estrategia de ingeniería de alimentos sostenible para mejorar el valor nutricional de los granos (Ren-Tú Gan et al., 2019). Estos cambios desencadenan transformaciones en el metaboloma, especialmente relacionados con el metabolismo de carbohidratos, aminoácidos y de la pared celular (Howell et al., 2009, como se citó en Pham Anh Tuan et al., 2019).

El GABA, un aminoácido no proteico, aumenta significativamente con el proceso de germinación de cereales. Este compuesto, distribuido ampliamente en microorganismos, plantas y animales, se forma mediante la descarboxilación enzimática del ácido L-glutámico. Sus numerosos beneficios para la salud humana lo señalan como un agente antihipertensivo, un posible tratamiento potencial para los trastornos neurológicos y del sueño, y exhibe propiedades diuréticas. Actualmente no se permite la adición directa de GABA en estado puro a los alimentos. Por tanto, los esfuerzos de las investigaciones están orientados a la producción *in situ* de alimentos enriquecidos con GABA mediante la germinación de semillas o fermentación microbiana (Jian-Yong Chua et al, 2019).

Palmer et al. (2012), como se citó en Zhao et al. (2019) señala:

Se ha reconocido que GABA influye en varios procesos fisiológicos importantes en animales superiores cuando se administra por vía oral, como

la presión arterial reducción (Inoue et al., 2003; Yoshimura et al., 2010) y regulación del metabolismo del colesterol hepático (Imam et al., 2014). Estudios recientes sobre alimentos funcionales indicaron que el GABA es ampliamente considerado como un nutriente funcional con beneficios para la salud a los humanos. (p. 2)

La germinación también incrementa el contenido de fenoles y flavonoides, como puede observarse en la siguiente tabla, donde se muestra la variación de estos componentes en granos de kiwicha (Aguilar y Romero, 2018):

Tabla 4: Contenido de fenoles totales y flavonoides de las semillas sin germinar y germinadas de cuatro variedades de *Amaranthus caudatus* L. “kiwicha”.

Variedad	Fenoles Totales (mg GAE/g de muestra)*		Flavonoides (mg QE/g de muestra)**	
	Sin Germinar	Germinado	Sin Germinar	Germinado
Centenario	5,64	20,83 ^a	156,71	228,57 ^a
Cristalino	6,78	32,92 ^a	212,55	580,95 ^c
Oscar Blanco	7,20	19,94 ^a	196,54	467,10 ^b
Taray	6,36	35,00 ^a	295,57	230,74 ^a

Fuente: (Aguilar y Romero, 2018)

La germinación aumenta la actividad antioxidante, los fenoles totales y los flavonoides totales unos cientos de veces, datos obtenidos por diferentes métodos mostraron correlación significativa entre el contenido fenólico total de semillas y brotes (Nemzer et al., 2019)

El principal ácido fenólico que se encuentra tanto en las semillas como en los brotes de quinua y kiwicha es ácido gálico. Otros ácidos fenólicos, como el ácido *p*-hidroxibenzoico, ácido vanílico, ácido *p*-cumárico, ácido cafeico y ácido cinámico se encontraron en las semillas sin germinar, mientras que el ácido *p*-cumárico, ácido sirínico, y ácido ferúlico están presentes en los brotes (Nemzer et al., 2019).

Los métodos de preparación de granos de cereales contribuyen a mejorar su textura, palatabilidad y valor nutricional. El uso de granos germinados como alimento fresco es limitado debido al alto contenido de agua y corta vida útil de estos productos (Dziki y Gawlik-Dziki, 2019).

Según Finnie S. et al. (2019) el uso de granos germinados como ingredientes en los alimentos se ha incrementado durante la última década. Tradicionalmente, el pan ha sido el principal producto alimenticio que utiliza granos germinados, pero ahora los granos germinados se utilizan en muchos productos alimenticios horneados, como tortillas, granola, galletas, galletas saladas y muffins, así como en otras aplicaciones como bocadillos, barras, cereales para el desayuno, guarniciones y ensaladas.



Ilustración 4: Panecillos multicereales sin germinar (izquierda) y panecillos multicereales germinados (derecha), preparados de masa congelada.

Fuente: Finnie et al., 2019

La harina de semillas germinadas puede ser empleada como ingrediente en productos a base de cereales. Sin embargo, la alta actividad enzimática descompone el almidón significativamente y, a menudo, afecta negativamente a la calidad del producto final. Por ejemplo, la harina de granos de trigo germinados afecta la calidad del pan y la pasta. Es por ello que las harinas de los granos

germinados no se agregan en grandes porcentajes a los productos finales. (Dziki y Gawlik-Dziki, 2019)

Las pastas alimenticias también representan un producto potencial a elaborar dado que es un alimento básico de larga vida útil, pruebas realizadas con sustitución parcial con harina de quinua han demostrado que es posible obtener un producto aceptable en sabor y textura con porcentaje inferiores a 30% de sustitución. Es evidente que los granos andinos, especialmente cuando están germinados, producen cambios significativos en la composición de los alimentos. Las condiciones para la germinación de granos de quinua y kiwicha se han optimizado, resultando en un aumento notable en la concentración de proteínas, compuestos fenólicos, así como en la actividad antioxidante. Las harinas de estos granos se muestran como insumos idóneos para la elaboración de alimentos con valor agregado.

En cuanto a la harina de cushuro, también ha sido objeto de estudio con el objetivo principal de evaluar su aporte nutricional y aceptabilidad. Se ha explorado su utilización en la elaboración de productos extruidos, y los resultados han demostrado que adicionando un 10% de cushuro a la formulación se logra obtener un producto de sabor, olor y textura aceptables (Neyra, 2015).

2.2. Marco Conceptual

Quinua: importante cultivo que se distribuye en los Andes de Sudamérica. Sus granos son altamente nutritivos con una importante cantidad de proteínas y compuestos bioactivos superando en valor biológico a los cereales tradicionales. Básicamente reconocido por su proteína de alta calidad (14.12%), particularmente rica en aminoácidos esenciales y por su contenido de carbohidratos (64.16%). (FAO, 2021).

Kiwicha: cultivo cuya distribución diversificada se encuentra en la cordillera de los andes de América del Sur. Posee un alto contenido de lisina, aminoácido esencial para la nutrición de los niños especialmente en etapas iniciales de su desarrollo donde influye en el fortalecimiento neuronal. También contiene minerales como calcio, fósforo, hierro, potasio, zinc; vitaminas E, B y proteína de 12 a 18 %. Además, se comporta como un excelente complemento en la industria harinera. (INIA, 2012)

Cushuro: algas azul verdes o Cyanophyta llamadas comúnmente: “cushuro”, “llullucha”, “murmunta”, “crespito”, “jugadores”, “yurupa”, “uvas de los ríos”, “cochayuyo”, etc. De consistencia gelatinosa de forma esférica, de color verde azulado. Se han identificado diversas especies en los lagos, arroyos y manantiales de los Andes peruanos entre las que se incluyen *Nostoc sphaericum*, *Nostoc commune*, *Nostoc pruniforme*, *Nostoc parmelioides* K. y *Nostoc verrucosum* V. Ubicado (Roldan, 2015). Según las Tablas Peruanas de Composición de Alimentos, en la tabla P, de alimentos nativos, el cushuro deshidratado al 15.1% de humedad contiene 29% de proteínas, carbohidratos totales 46,9% y cenizas 8,5%. Aporta 147 mg de calcio, 64 mg de fósforo y 83,6 mg de hierro.

Harina: “Polvo obtenido de la molienda de un cereal o grano”. (Choquehuanca, 2015)

Germinación: La germinación de la semilla es un proceso fisiológico complejo que comienza con la absorción de agua por la semilla seca en reposo y termina con la protuberancia de la radícula a través de las capas que cubren la semilla (Pham Anh Tuan et al., 2019).

Compuestos bioactivos: Se denominan también fitoquímicos o fitonutrientes. Gracias a sus importantes propiedades, efectos biológicos y a sus atributos sensoriales. En el reino vegetal, se pueden distinguir 4 grandes grupos de

compuestos bioactivos, como son las sustancias nitrogenadas, las azufradas, las terpénicas y, las más ampliamente estudiadas, las fenólicas (Martínez et al, 2008).

Compuestos fenólicos: se pueden clasificar en flavonoides (antocianinas, flavonoles y flavonas, flavanonas, chalconas y dihidrochalconas, isoflavonas — aunque éstas se encuentran casi exclusivamente en legumbres - y flavanoles), fenilpropanoides (derivados de ácidos hidroxicinámicos, como el cafeico, ferúlico sinápico y p-cumárico), estilbenoides (resveratrol y piceatanol) y derivados del ácido benzoico (ácidos gálico y elágico). Tienen un impacto directo en la calidad de los productos que los contienen, pues en parte se encargan de sus propiedades sensoriales (Martínez et al, 2008)

Antioxidantes: “Un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas”. (Abderrahim et al., 2012)

Palatabilidad: placer que se experimenta cuando se ingiere un alimento concreto. Esta sensación dependerá de las características organolépticas del alimento, es decir, de su sabor, olor, color o textura, y va a condicionar de manera relevante la elección de los alimentos y su ingesta (Hernández, 2018).

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN:

3.1. Hipótesis central de la investigación:

A partir de la sustitución de 15% de harina de semillas germinadas y 15% de harina de cushuro es posible obtener una pasta alimenticia funcional optimizada con mayor contenido de actividad antioxidante y compuestos bioactivos.

3.2. Variables e indicadores de la investigación:

3.2.1. Variables independientes:

Para las muestras de ambas pastas se incluyeron las siguientes variables independientes:

- Porcentaje de harina de kiwicha germinada (*Amaranthus caudatus*).
- Porcentaje de harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*).
- Porcentaje de harina de trigo (*Triticum aestivum* L.)
- Porcentaje de harina de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

3.2.2. Variables dependientes:

Para las muestras de pastas se evaluaron las siguientes variables dependientes:

- **Análisis de parámetros tecnológicos:** se evaluó el color instrumental, tiempo de cocción, porcentaje de aumento de volumen, % de pérdida de sólidos, firmeza y fuerza de rotura.
- **Compuestos bioactivos:** se evaluó el contenido de compuestos fenólicos totales (mg/100 g de peso seco), el contenido de ácido γ -aminobutírico (mg/100 g de peso seco).
- **Capacidad antioxidante:** se evaluó la capacidad antioxidante (μmol Trolox equivalentes/g de peso seco)

- **Contenido de ácido fítico:** se evaluó la cantidad de ácido fítico en g/100 g

Para la optimización de la mezcla de harinas y formulación de las pastas se empleó la función de deseabilidad del software Design Expert 11.0.1.

Para ejecutar la opción de optimización se definió el objeto de la variable respuesta (maximizar o minimizar) y se consideró el mismo peso para cada variable.

3.3. Método de la investigación

El método de investigación fue aplicativo según su finalidad, y su caracterización se basó en el manejo de variables experimentales. Además, en términos de contexto se llevó a cabo en un entorno de laboratorio.

3.4. Diseño

El diseño de la investigación fue experimental. Fue aplicado el Diseño Simplex con Centroides (DSC) de la metodología de Superficie de Respuesta con 14 tratamientos experimentales y con 3 repeticiones. Este diseño de mezcla se emplea cuando las características del producto final (variables dependientes) está influenciado por la proporción de los componentes de mezcla inicial (variables independientes). El objetivo de este diseño es habilitar la estimación de propiedades de un sistema multicomponente a partir de un conjunto limitado de observaciones. Las mezclas preseleccionadas se diseñaron con la intención de optimizar la respuesta del sistema.

Tabla 5: Matriz de experimentos para pasta con sustitución de harina de quinua germinada y harina de cushuro (Diseño simplex centroide)

	Componentes			Respuestas			
N°	X ₁ : Harina de Trigo (%)	X ₂ : Harina de quinua Germinada (%)	X ₃ : Harina de cushuro (%)	Capacidad antioxidante (micromol /g ps)	GABA (mg /100 g ps)	Fenoles totales (mg /100 g ps)	Ac. Fítico (g/100 g ps)
1	70	15	15				
2	80	5	15				
3	80	15	5				
4	75	10	15				
5	75	15	10				
6	80	10	10				
7	76	12	12				
8	74	13	13				
9	79	8	13				
10	79	13	8				
11	80	15	5				
12	80	10	10				
13	70	15	15				
14	80	5	15				

Fuente: Desing Expert 11.1

Tabla 6: Matriz de experimentos para pasta con sustitución de harina de kiwicha germinada y harina de cushuro (Diseño simplex centroide)

	Componentes			Respuestas			
N°	X ₁ : Harina de Trigo (%)	X ₂ : Harina de quinua Germinada (%)	X ₃ : Harina de cushuro (%)	Capacidad antioxidante (micromol /g ps)	GABA (mg /100 g ps)	Fenoles totales (mg /100 g ps)	Ac. Fítico (g/100 g ps)
1	70	15	15				
2	80	5	15				
3	80	15	5				
4	75	10	15				
5	75	15	10				
6	80	10	10				
7	76	12	12				
8	74	13	13				
9	79	8	13				
10	79	13	8				
11	80	15	5				
12	80	10	10				
13	70	15	15				
14	80	5	15				

Fuente: Desing Expert 11.1

3.5. Población y muestra

Las materias primas objeto de estudio incluyeron granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y quinua (*Chenopodium quinoa*) y cushuro (*Nostoc sphaericum*). Las muestras utilizadas fueron granos seleccionados y certificados de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y quinua (*Chenopodium quinoa*) y el cushuro proveniente de la laguna de Churup-Huaraz.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Germinación de los granos andinos: La germinación de los granos de quinua y kiwicha, se procedió aplicando condiciones propuestas en publicaciones científicas (Paucar-Menacho et al. 2017; Paucar-Menacho et al. 2018 y Abderrahimet al, 2012). Las condiciones de germinación óptimas para maximizar el contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante fueron las siguientes: temperatura (T^a) = 26 °C / humedad Relativa (HR) = 90% / tiempo (t) = 72 h) en los granos de kiwicha T^a = 20 °C / HR = 90% / t = 42 h en el caso de la quinua.

Obtención de harina de cushuro: El cushuro previamente seleccionado y lavado fue secado a 40 °C por un tiempo de 6 horas como indica la Figura 5 (Chili y Terrazas, 2010).

Elaboración de harina de los granos andinos germinados: Los granos germinados se secaron a 60°C, hasta alcanzar la humedad de 8-10%, se molieron y tamizaron hasta conseguir un tamaño de partícula de 150-200 µm y se envasaron en bolsas de polietileno al vacío.

Caracterización de la composición proximal, compuestos bioactivos y actividad antioxidante de la harina de granos germinados: Se analizó la composición proximal de las harinas según los métodos de la AOAC para determinación de humedad (método 925.10), grasa (método 922.06), ceniza (método 923.03), proteína (método Kjeldahl 920.87), fibra (método NTP 205.003) y minerales como el calcio y hierro (método 985.35). los análisis se realizaron en

los laboratorios del IITA-UNS. Por otro lado, se determinaron el contenido de ácido gamma-aminobutírico (GABA) por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), los compuestos fenólicos por el método de Folin-Ciocalteu y la actividad antioxidante mediante el ensayo de la capacidad atrapadora de radicales de oxígeno (ORAC) en los laboratorios del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos y Nutrición (ICTAN) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) (España), según está descrito por Paucar- Menacho et al. (2017).

Análisis de calidad de la pasta: El color de la pasta cruda se evaluó mediante el método triestímulo CIELab.

El tiempo de cocción se determinó cocinando 10 g de la muestra en 140 mL de agua destilada hirviendo, hasta alcanzar una calidad visual adecuada. Posteriormente, se comprimió la muestra cocida cada 30 segundos entre 2 portaobjetos hasta que desapareció el eje central.

El porcentaje de pérdida de sólidos en el agua de cocción se determinó mediante la evaporación de 25 mL de agua de cocción obtenido en el análisis de aumento de masa en un horno a 105°C, hasta que la masa fue constante.

La determinación de la textura de la pasta cocida se realizó utilizando el Texturómetro Brookfield con todas las muestras.

La determinación de firmeza de la pasta se midió según el Método AACC 16-50(2000).

Caracterización del producto terminado: El análisis de calidad nutricional de las pastas optimizadas incluyó la composición proximal (humedad, grasa, ceniza, proteína, fibra, calcio y hierro), el contenido de TPC, el contenido de GABA, ORAC según esta descrito por (Paucar Menacho et al. 2017) y contenido de hierro por espectroscopia de absorción atómica.

Análisis sensorial de la pasta elaborada con la formulación óptima: Se llevó a cabo un análisis sensorial en tres etapas, dónde en la etapa 1 se brindó información de

las materias primas a los consumidores; en la etapa 2 se tuvo la participación de 120 panelistas, a los cuales se les entregó dos platos de plástico codificado con un número de tres dígitos aleatorios. La prueba de aceptación se realizó tanto para las pastas crudas como cocidas. Para las pastas crudas se utilizó una escala hedónica de nueve puntos (9 = me gusta muchísimo y 1 = me disgusta muchísimo) para el color y apariencia general, se usó una escala hedónica del 1 al 5 (1=ciertamente no lo compraría y 5=ciertamente lo compraría) para la intención de compra (anexo 7). Para las muestras cocidas se usó la escala hedónica del 1 al 9 para los atributos de olor, color, sabor, textura y gusto general (anexo 8). La prueba de aceptabilidad fue evaluada mediante un ANOVA.

En la etapa 3 se realizó el método CATA (check - all – that - applied), este es un método sensorial descriptivo, mediante el empleo de preguntas estructuradas a los panelistas, se obtienen perfiles de productos de manera rápida. Para ello se formó un focus group con 10 personas para obtener los atributos a evaluar. Posteriormente, se les entregó a los panelistas una ficha con todos los atributos, donde seleccionaron los relacionados con cada pasta óptima (anexo 9). Se aplicó una prueba Q de Cochran para identificar los términos que discriminaron las muestras en $p \leq 0,10$. Seleccionando sólo los términos significativos de la prueba Q de Cochran, se realizó un análisis de correspondencia utilizando la distancia de Hellinger. Los resultados fueron evaluados con el software XLSTAT 2023.3.0 versión de prueba.

Determinación de la vida útil: Para la determinación de la vida útil se almacenaron las pastas PQC y PKC a temperatura ambiente en bolsas de polietileno, para una mejor simulación del almacenamiento en condiciones reales.

Se tomaron los siguientes indicadores por un tiempo de 12 semanas:

Tabla 7: Indicadores de pérdida de calidad y límites críticos

Indicador de pérdida de calidad para le estudio	Límite crítico (formación de compuestos indeseables)
Color sensorial	Mín 5
Olor sensorial	Mín 5
Humedad porcentual	Máx 14 %*

*Según NTP 206.010 – 2016

Los datos obtenidos servirán para realizar una regresión lineal y estimar el tiempo en el que los indicadores lleguen a su límite crítico. Una vez obtenidos los tiempos de vida útil según cada indicador, se tomará como indicador crítico el que presente un deterioro más rápido y por ende será el que determine el tiempo de vida útil para el producto (Páucar-Menacho, 2022).

3.7. Procedimiento de la recolección de datos

- a. **Variable independiente (factores):** mezcla de harinas de granos andinos germinados (las formulaciones de granos germinados de quinua y kiwicha serán estudiadas por separado) y harina de cushuro para elaborar pastas alimenticias, se detalla a continuación: x_1 : harina de trigo (70-80%), x_2 : harina de granos germinados (5-15%) y x_3 : harina de cushuro (5-15%). La mezcla de harina de granos andinos germinados consistió en kiwicha y quinua germinada, sustituyendo la harina de trigo en los porcentajes indicados.
- b. **Variable dependiente (respuestas):** Se procedió a realizar el análisis de compuestos bioactivos (GABA y compuestos fenólicos totales), capacidad antioxidante, contenido de hierro y evaluación sensorial (olor, color, sabor y textura) para cada tratamiento establecido en la matriz de experimentos de acuerdo al Diseño Simplex centroide.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de los resultados

El Diseño de mezcla Simplex con Centroides consiste en un triángulo que representa todo el universo de posibilidades de mezcla de sustitución evaluada. Se empleará el programa Desing Expert 11.1 y se realizó un análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) de modelos de regresión lineal, cuadrático y cúbico, para escoger el modelo más significativo ($p < 0.05$) y de mejor ajuste (R^2) con el cual se construirán las superficies de respuesta para determinar el porcentaje de cada harina que optimizan las variables dependientes. Para la optimización se empleará el método de la función deseada. Para todas las funciones deseadas de las respuestas se define una función total D ($0 < D < 1,0$), donde la solución óptima es un valor alto en la función D.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Obtención de harina de cushuro (*Nostoc sphaericum*) y harinas de granos germinados de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y quinua (*Chenopodium quinoa*)

Los granos de kiwicha de la variedad centenario fueron enviados por el Instituto de Desarrollo Agroindustrial de la Universidad Nacional Agraria-La Molina. La harina de granos de kiwicha germinada (*Amaranthus caudatus*), se realizó en el IITA de la Universidad Nacional del Santa. Se siguieron los parámetros óptimos determinados por Paucar-Menacho (2017).

Se inició con la eliminación de impurezas, pesado, lavado con agua potable a temperatura ambiente, desinfección (solución de agua destilada con hipoclorito de sodio al 0,1% por 30 min), remojo en agua destilada a una temperatura de 23 °C, por 24 h y con una relación semilla: agua de 1 a 5.

Posteriormente se sumergieron las semillas en agua destilada y colocadas en el germinador (°T=26 °C, t= 63 h, HR=90%) para lograr su germinación. Se secó en una cámara con ventilación forzada (°T=40 °C, t= 30 h). Por último, los granos germinados secos y molidos para obtener harina de kiwicha germinada (HKG en lo posterior). Finalmente, fue envasado al vacío en bolsas de polietileno y almacenados en la oscuridad. Las imágenes del proceso pueden observarse en el Anexo 1. El rendimiento fue de 86% como se muestra en la tabla 4.

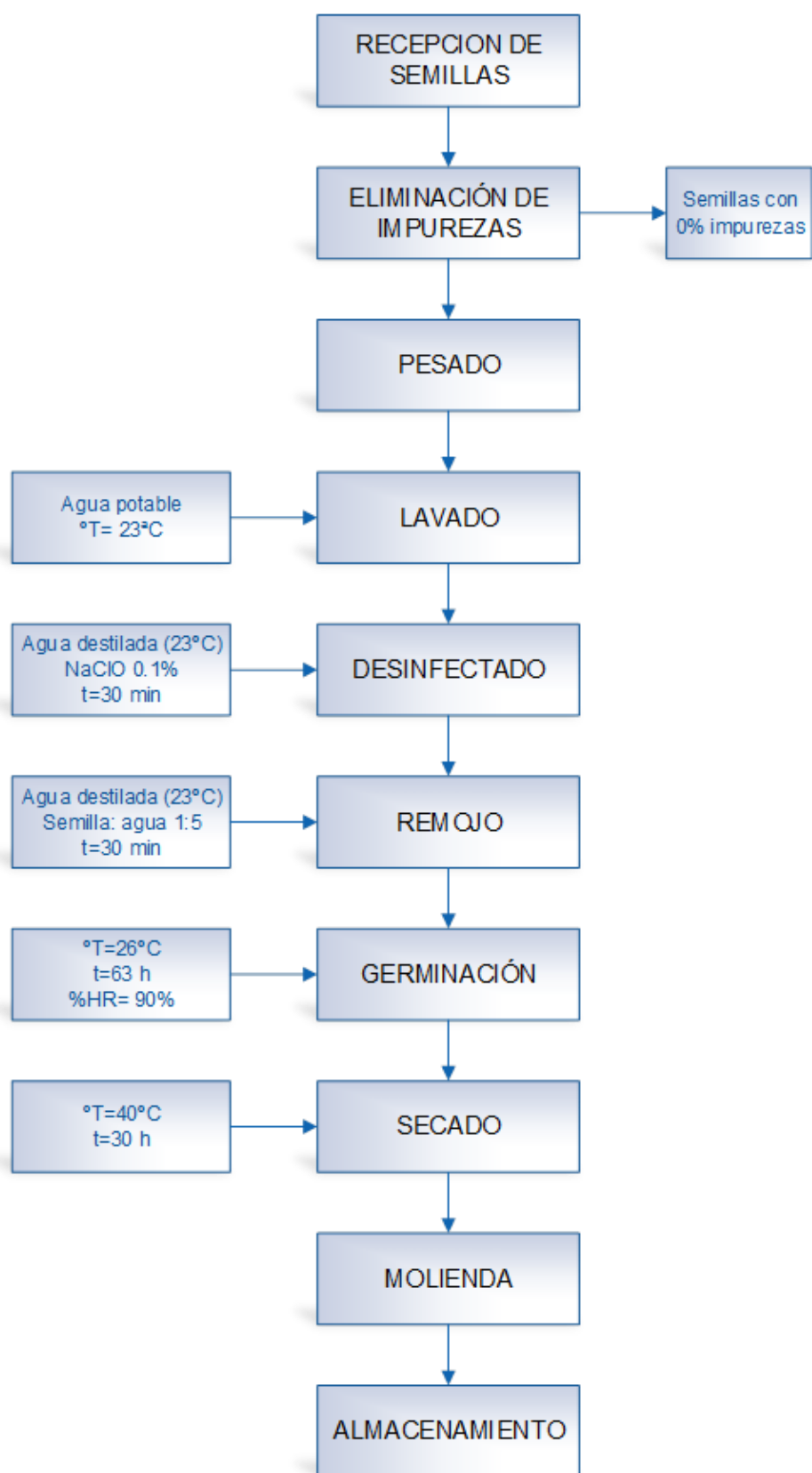


Ilustración 5: Diagrama de bloques de elaboración de harinas de Kiwicha germinada
(*Amaranthus caudatus*)

Tabla 8: Balance de materia de la elaboración de harina de kiwicha germinada

ETAPA	Entrada (Kg)	Salida (Kg)
Pesado	0,3	0,3
Lavado	0,3	0,3
Desinfección	0,3	0,3
Remojo	0,3	0,575
Germinación	0,575	0,735
Secado	0,735	0,260
Molienda	0,260	0,259
RENDIMIENTO	86%	

De igual manera se procedió con la elaboración de harina de quinua germinada. Las semillas de quinua fueron enviadas por el Instituto de Desarrollo Agroindustrial de la Universidad Nacional Agraria-La Molina. Se siguieron los parámetros óptimos determinados por Paucar et al. (2018).

Las etapas de eliminación de impurezas, lavado, desinfección y remojo fueron las mismas que las detalladas anteriormente. Para la etapa de germinación: las semillas fueron humedecidas con agua destilada y colocadas en el germinador ($^{\circ}\text{T} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 42\text{ h}$, $\text{HR} = 90\%$). Posteriormente se secaron en una cámara con ventilación forzada ($^{\circ}\text{T} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 30\text{ h}$). Finalmente fue molida y tamizada para la obtención de harina de quinua germinada (HQG en lo posterior). Las imágenes del proceso de elaboración de la harina pueden observarse en el Anexo 2. Se puede observar en la ilustración 7 el diagrama de bloques para la elaboración de

harina de quinua germinada y en la tabla 5 el balance de materia respectivo.

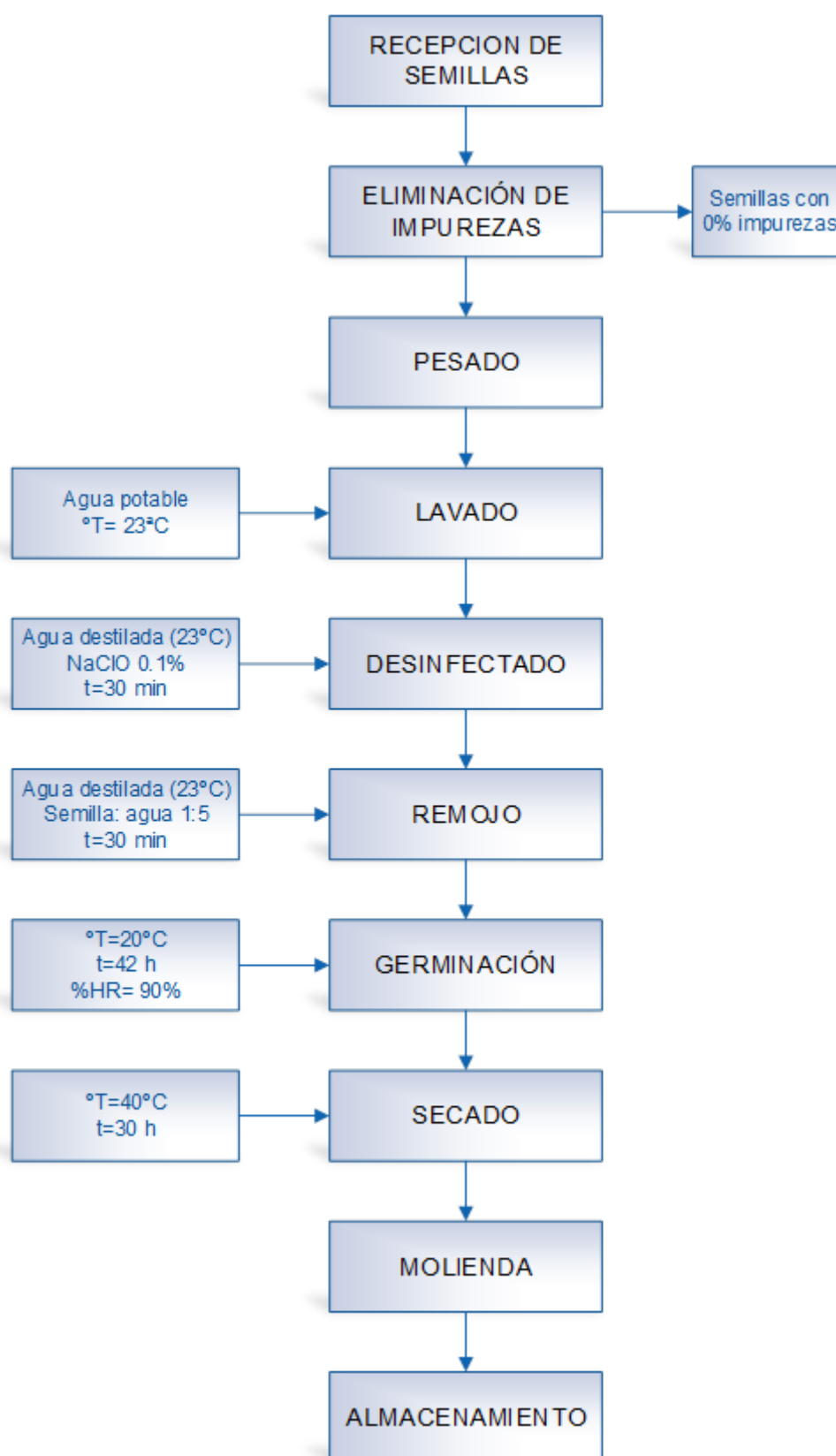


Ilustración 6: Diagrama de bloques de elaboración de harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*)

Tabla 9: Balance de materia para la elaboración de harina de quinua germinada

ETAPA	Entrada (Kg)	Salida (Kg)
Pesado	0,3	0,3
Lavado	0,3	0,3
Desinfección	0,3	0,3
Remojo	0,3	0,535
Germinación	0,535	0,717
Secado	0,717	0,251
Molienda	0,251	0,251
RENDIMIENTO	84%	

Como se puede observar en las ilustraciones 6 y 7, el proceso de obtención de granos germinados es similares en la kiwicha y la quinua, variando en la temperatura, tiempo y porcentaje de humedad relativa en la etapa de germinación propiamente dicha. En contraste, Casanave y Ruiz (2022), quienes trabajaron en germinación de granos de quinua, kiwicha y cañihua, detuvieron la etapa de germinación por la aparición de la división en dos hojitas de la parte superior del germinado, realizando la “cosecha” a los 5 días de germinación, mientras que, Hinostroza (2020) trabajó con temperaturas de 17°C y 25°C para la germinación de quinua y kiwicha.

El rendimiento para ambos granos fue también similar, siendo la etapa de secado, la de mayor disminución de peso, tanto para la quinua y kiwicha se empleó una temperatura de 40°C durante 30 horas.

Para la elaboración de la harina de cushuro este fue obtenido de la laguna Churup – Huaraz. La harina de cushuro fue elaborada en los laboratorios del IITA de la UNS según los parámetros establecidos por Chili y Terrazas (2010). Una vez recepcionado el cushuro, se procedió a la eliminación de impurezas (piedras, algas acompañantes, animales pequeños entre otros), luego fue lavado y desinfectado con una solución de hipoclorito de sodio de 15 ppm para posteriormente ser secado en un secador de bandejas con circulación de aire forzado a 40°C. Una vez seco, se procedió a la molienda en el molino de martillos y tamizado. El diagrama de bloques del proceso y el balance de materia figuran en la ilustración 8 y tabla 6 respectivamente.



Ilustración 7: Diagrama de bloques para la elaboración de harina de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

Tabla 10: Balance de materia para la elaboración de harina de cushuro:

ETAPA	Entrada (Kg)	Salida (Kg)
Pesado	10	10
Secado	10	0,194
Molienda	0,194	0,187
Tamizado	0,187	0,168
RENDIMIENTO	1,68%	

Ya que la humedad asciende al 98%, el rendimiento de la harina de cushuro es congruente con lo obtenido por Sosa (2021), el cual fue de 1.39% luego de haberlo secado por bandejas al igual que en la presente investigación.

4.2. Composición proximal de las harinas de cushuro (*Nostoc sphaericum*) y de las harinas de granos germinados de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y quinua (*Chenopodium quinoa*)

4.2.1. Composición proximal de las harinas de granos germinados de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y quinua (*Chenopodium quinoa*)

A continuación, se presenta el resultado de la composición proximal de las harinas de kiwicha y quinua.

Tabla 11: Composición proximal de las harinas de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas y sin germinar.

PARÁMETROS	HARINA DE KIWICHA		HARINA DE QUINUA	
	SIN GERMINAR	GERMINADA	SIN GERMINAR	GERMINADA
Humedad (%)	5,79% ± 0,30	4,22 ± 0,17	8,88% ± 0,06	4,52% ± 0,22
Proteínas (%)	16,05% ± 0,14	15,38 ± 0,11	6,87% ± 0,13	13,52% ± 0,26
Grasas (%)	5,10% ± 0,08	5,86 ± 0,38	5,21% ± 0,07	7,18% ± 0,39
Cenizas (%)	2,66% ± 0,19	2,85 ± 0,08	2,48% ± 0,17	2,29% ± 0,08

Media de tres repeticiones + desviación estándar

Martínez et al. (2020), en su estudio sobre el valor nutraceútico de la kiwicha reportaron los siguientes valores para la harina de esta semilla: 8,13% de humedad, 15,05% de proteínas, cenizas 2,88% y grasas 7,02%. Estos resultados son similares a los obtenidos en nuestro trabajo de investigación. Se observa el proceso de germinación no varía el contenido de proteínas y grasa significativamente. Sin embargo, las proteínas experimentan un incremento en el caso de la quinua; estos resultados son congruentes con los reportados por Bravo et al (2013), quienes analizaron los efectos de la germinación tanto en semillas de kiwicha como de quinua demostrando además una variación en el contenido de cenizas y fibra para las semillas antes y después de la germinación. De igual forma Ñahuero (2018) estudió los efectos del malteado sobre la composición química de la quinua variedad Pasankalla, obteniendo un incremento del 2% de proteínas. En nuestro estudio el contenido de proteínas para el caso de la HKG es levemente inferior que la harina sin germinar, al contrario de lo que ocurre en la quinua. Según Paucar et al. (2022) estos

diferentes efectos de la germinación sobre el contenido de proteína se han atribuido al metabolismo de la semilla durante la germinación. La disminución de proteínas es atribuible a la hidrólisis de péptidos solubles y aminoácidos que pueden lixiviarse al agua de remojo mientras que el incremento posiblemente pueda deberse a la síntesis de nuevas proteínas o a la pérdida de carbohidratos durante la germinación.

Asimismo, Pilco et al (2020) en su estudio de los efectos de la germinación sobre la composición nutricional de la quinua y la Kiwicha destacó que el contenido total de proteína en la quinua se incrementó después de 72 horas de germinación de 9,6 a 26,0 g/100 g ps. Esta tendencia creciente también se observó en muestras de kiwicha, donde el contenido de proteína se incrementó de 15,4 a 23,7 g/100 g durante 72 h de germinación; los valores difieren probablemente por las distintas variedades de semillas empleadas en la investigación, siendo estas Chullpi y Oscar Blanco para la quinua y la Kiwicha respectivamente. También resalta que la tendencia del incremento del contenido de proteínas tanto en la quinua como en la Kiwicha puede deberse a que durante la germinación se produce la generación y movilización de nutrientes de reserva en los granos.

Según Finnie et al. (2019) durante la germinación, una vez que la humedad ha alcanzado el mínimo requerido, comienza la secreción de hormonas y con estas la liberación de enzimas como las amilasas, lipasas y proteasas; estas últimas promueven el incremento de aminoácidos libres aumentando el contenido de proteína total.

En cuanto al porcentaje de grasas nuestro estudio muestra una variación en comparación con los valores reportados por Casanave y Ruiz (2022) quienes determinaron un contenido de grasa de 2,98% en la kiwicha germinada y 4,81% para la quinua germinada. De igual manera que para el contenido de proteínas, con un 15,18% para la kiwicha y 18,19% para la quinua; estas diferencias pueden deberse a diferencias en las condiciones del proceso de germinación. En relación

a ello, Quintana (2020) reporta un contenido de 34,1% de carbohidratos para la quinua germinada y 16,5% de proteínas, valores inferiores a los obtenidos en esta investigación, no siendo el caso para las cenizas que alcanzaron un valor de 5,6%, similar a lo obtenido.

En relación al contenido de cenizas, Pilco et al. (2020) reportaron una disminución tanto para la quinua como para la kiwicha después del remojo y 72 horas de germinación, atribuyéndolo a la lixiviación de minerales al agua de remojo y la utilización de estos como coenzimas para la catálisis de proteínas y carbohidratos; sin embargo, para el caso de la harina de kiwicha se observa un ligero aumento de 2,66% a 2,85%, pudiendo deberse a la reducción de sólidos totales. Estos resultados fueron similares a los reportados por Paucar et al (2017), donde se estudiaron los cambios en la composición proximal de las harinas de quinua, kiwicha y kañihua después de la germinación.

4.2.2. Composición proximal de la harina de Cushuro (*Nostoc sphaericum*)

En la tabla 7 se presenta la composición proximal, compuestos bioactivos y contenido de ácido fítico en la harina de cushuro.

Tabla 12: Composición proximal y compuestos bioactivos de la harina de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

Parámetro	Cushuro
Humedad (%)	12,3±0,13
Carbohidratos (% ps)	0,16 ± 0,03
Fibra dietética total (% ps)	19,77±0,57
Fibra dietética insoluble (% ps)	5,53±0,26
Fibra dietética soluble (% ps)	14,23±0,33

Proteínas (% ps)	65,95±4,80
Grasa (%)	0,68±0,01
Cenizas (%)	6,17±1,78
PA (%)	0,05±0,00
TSPC (mg GAE/100 g)	306,48±22,91
ORAC (μmol TE/g)	15,46±1,41
GABA (mg/100 g)	4,20±0,14
Fe (mg/kg)	246,81±6,70
Mg (mg/kg)	2153,56±12,14
K (mg/kg)	1123,90±16,59
P (mg/kg)	329,49±7,96
Na (mg/kg)	4534,24±26,45
Ca (mg/kg)	21616,93±648,64
Cu (mg/kg)	6,93±0,07
Mn (mg/kg)	172,44±7,69
Zn (mg/kg)	47,79±1,66

Los datos son medias $\pm$ desviación estándar de tres repeticiones. Abreviaturas: GABA, ácido γ -aminobutírico; GAE, equivalentes de ácido gálico; nd: no detectado; ORAC, capacidad de absorción de radicales de oxígeno; PA, ácido fítico; TSPC, compuestos fenólicos solubles totales; TE: equivalentes de Trolox

El cushuro es un alga con gran contenido de humedad en estado fresco, en base seca las proteínas, carbohidratos y cenizas representan el 80% de su peso seco con 65,95±4.80%, 19,77±0.57% y 6,17±1.78% respectivamente. Según Fernández y Suyón (2018) estos contenidos son sumamente

variables, sobre todo el contenido de cenizas, lo cual se debe fundamentalmente a condiciones ambientales del lugar de procedencia del cushuro que obedece a las características físicas químicas del agua y suelos donde habitan y se reproducen. Adicionalmente indica que algunos componentes pueden ser afectados durante el secado, como es el caso de las proteínas, que debido a la temperatura de secado puede llegar a desnaturalizarse y disminuir su concentración.

En relación al contenido de humedad se reportó un valor similar señalado por otros autores como $11,23 \pm 0,42$ % por Alegre et al. (2020) y 10,98%, 11,59% y 9,92% obtenido mediante secado a diferentes temperaturas de 50°C, 70°C y 90°C respectivamente por Muñoz (2021). De igual manera, se obtuvo $6,17 \pm 1,78$ % de cenizas similar a los investigadores mencionados, quienes reportaron valores de 7,70%, 7,65% y 7,12% (Muñoz, 2021) y $7,7 \pm 0,01$ % (Alegre et al., 2020).

Es destacable que gran parte de la fibra dietética es soluble, $14,23 \pm 0,33$ %, con gran capacidad para retener agua que puede aportar una elevada viscosidad al bolo alimenticio a su paso por el estómago e intestino durante el proceso de digestión aumentando el nivel de saciedad y a nivel intestinal reduciendo la absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos, ya que la capa que tienen que atravesar estos solutos, hasta llegar a los enterocitos (células del epitelio intestinal), es más gruesa y viscosa (Escudero y Gonzales, 2006). Bejarano y Huamaní (2022) recomendaron cuantificar los compuestos bioactivos del cushuro el cual es consumido en zonas altoandinas, ya que en su estudio demostraron el efecto hepatoprotector expresado en la disminución de triglicéridos y la protección frente al daño inducido por dietas ricas en sacarosa en ratones a nivel histológico. En la presente investigación se determinó el contenido de compuestos fenólicos y GABA y la actividad antioxidante. Adicionalmente, se analizó el ácido fítico, antinutriente

relacionado con la mala absorción de minerales. La harina de cushuro contenía una concentración de compuestos fenólicos totales de 306.48 ± 22.91 mg GAE/100 g ps en línea con los resultados, reportados ($345,21$ mg GAE/100 g) por Fernández y Suyón (2018). Asimismo, observan una pérdida significativa de compuestos fenólicos totales en cushuro que alcanza el 75,88% cuando se seca a 50°C . Estos resultados indican la termosensibilidad de estos compuestos relacionada con mecanismos de oxidación y activación de enzimas hidrolíticas y oxidativas. Chávez (2014) apuntó que la presencia de los compuestos fenólicos en el cushuro es necesaria por su función de defensa ante las condiciones hostiles en las que crece el cushuro como las altas presiones, que en combinación con la radiación (UV) y el oxígeno generan radical libres.

En relación a la capacidad antioxidante se ha demostrado una correlación positiva con el contenido de polifenoles, en este estudio la actividad antioxidante fue de $15,46 \pm 1,41$ $\mu\text{mol TE/g ps}$. Chávez (2014) atribuye la capacidad antioxidante del cushuro a la diversidad de compuestos fenólicos entre ellos a los flavonoides. Fernández y Suyón (2018) reportaron valores de actividad antioxidante (medida como la capacidad de atrapar el radical catiónico ABTS^{•+}) en el extracto de cushuro secado a 50°C con aire convectivo ($2,53 \times 10^{-2}$ mg/mL) próximos a los del estándar Trolox ($3,06 \times 10^{-3}$ mg/mL). Asimismo, en este estudio se sugirió que los carotenos, abundantes en el cushuro por su función fotoprotectora ($267,05$ mg b.s), pueden contribuir también a la capacidad antioxidante de esta cianobacteria. En cuanto a los minerales, es destacable el contenido de Ca 21616.93 ± 648.64 mg/Kg, seguido del Na, Mg y Fe. Estos resultados son superiores en comparación con lo reportado por Alegre (2020), quien señala un contenido de Ca de 12244 ± 0.01 mg/kg y Fe 15.72 ± 2.70 mg/kg, posiblemente debido a la distinta procedencia de la materia prima. De igual

manera, Sosa (2021) reportó resultados inferiores a este estudio, 15810 mg/kg de calcio y 1210 mg/kg de hierro.

Hasta la fecha, no se han llevado a cabo estudios que cuantifiquen el GABA en el cushuro y cómo influye el procesado en su contenido. En nuestra investigación se determinó un contenido de $4,20 \pm 0,14$ mg/100 g de GABA en el cushuro seco y molido. Según Jantaro y Kanwal (2017), los niveles de GABA son regulados en respuesta a diversos factores ambientales por medio de su metabolismo y a nivel transcripcional de genes implicados en sus rutas metabólicas. Asimismo, Pandey et al (2022) realizó ensayos aplicando radiación UVB sobre cianobacterias (*Nostoc muscorum*) lo que resultó en una disminución de su crecimiento. Posteriormente, aplicaron GABA exógeno y óxido nítrico, observando una disminución del estrés y un aumento de la fotosíntesis. Estos hallazgos demuestran el papel mitigador del GABA sobre el estrés ambiental en las cianobacterias, proporcionando así una perspectiva valiosa sobre su función y potencial aplicación en situaciones industriales.

4.2.3. Antinutrientes (ácido fítico), compuestos bioactivos (compuestos fenólicos y GABA) y capacidad antioxidante presente en las harinas de granos germinados de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y quinua (*Chenopodium quinoa*)

A continuación, se muestran los valores obtenidos para el ácido fítico los compuestos bioactivos (compuestos fenólicos y GABA) y la capacidad antioxidante para las harinas de semillas sin germinar y germinadas.

Diversas investigaciones señalan que debido al posible aumento de la enzima fitasa de hasta 5 veces durante la germinación, el ácido fítico disminuye, como se ha comprobado en ensayos realizados en soya (Afrin et al., 2022). Asimismo, Badshah et al. (2007) reportó una disminución del contenido de ácido fítico en brotes de garbanzo, atribuyéndolo también a actividades de la

enzima fitasa. Adicionalmente, destaca que este antinutriente presenta una correlación negativa con la digestibilidad in vitro de la proteína, ya que compuestos como los fitatos están relacionados con la baja calidad nutricional de las proteínas de las legumbres y algunos cereales, por lo que se recomienda el remojo y germinación de estos para obtener mejores beneficios nutricionales.

Tabla 13: Antinutrientes, compuestos fenólicos, GABA y capacidad antioxidante en las harinas de semillas sin germinar y germinadas.

PARÁMETROS	HARINA DE KIWICHA		HARINA DE QUINUA	
	SIN GERMINAR	GERMINADA	SIN GERMINAR	GERMINADA
Ácido fítico (g/100 g ps)	1,23±0,02	1,21±0,07	0,90 ±0,02	0,58±0,01
Fenoles totales (mg GAE/100 g ps)	49,27±1,44	144,72±2,09	62,83 ± 4,89	525,50±38,14
GABA (mg/100 g ps)	37,38±1,58	100,00±22,45	32,98 ± 4,42	202,54±32,05
ORAC (μmol TE/g)	274,53 ±82,33	448,84 ±36,98	1275,53 ± 78,70	3395,04 ± 145,81

Con respecto al contenido de fenoles totales, el almidón del endospermo se metaboliza parcialmente para proporcionar energía a la planta en crecimiento, lo cual reduce la materia seca absoluta de la semilla en aproximadamente un 10% después de la germinación. El efecto de la germinación es bastante variable y difiere entre clases de compuestos, cultivares de cereales y condiciones de germinación y secado (Schendel, 2019). Los resultados de esta investigación indican un incremento significativo, de hasta 8 veces el contenido inicial del de polifenoles totales para la HQG y 3 veces para la HKG. Este hallazgo subraya la

influencia positiva de la germinación en la concentración de compuestos fenólicos, destacando la importancia de considerar estos cambios en la formulación de productos alimenticios para optimizar su perfil nutricional y funcional.

Pilco et al. (2020) reportaron un incremento de 46% (de 2319,1 a 3405,0 $\mu\text{g/g}$ peso seco) en el contenido de polifenoles de quinua después de 48 horas de germinación, lo que concuerda con los resultados reportados por Paucar et al (2018), donde se alcanzó un 44% de incremento de compuestos fenólicos. Los valores obtenidos en nuestra investigación difieren de los reportados por Hinostroza (2020) quien señala 145,87 mg GAE/100 g ps para la HQG. Para el caso de la HKG, los resultados también difieren, siendo 31,27 mg GAE/100 g ps, lo que podría atribuirse al empleo de distintas variedades de semilla. Schoenlechner (2017) destaca la variabilidad en el contenido de compuestos fenólicos entre variedades de quinua, siendo la quinua blanca la que presenta menor cantidad de polifenoles totales. Además, Hinostroza (2020) resalta que el proceso de secado tiene un impacto negativo en los compuestos fenólicos. Aguilar y Romero (2018) observaron un contenido de compuestos fenólicos totales de 20.83 mg/g ps de Kiwicha germinada variedad centenario, pero es crucial tener en cuenta que estas muestras fueron analizadas posterior a la germinación y antes del proceso de secado.

En relación al contenido de GABA, ácido gamma-aminobutírico, el cual es un aminoácido no proteico, diversos estudios han demostrado su fuerte asociación con la duración de remojo y temperatura tanto de germinación como de secado (Yong, Ping y Quan, 2019). En esta investigación se obtuvo valores de $100,00 \pm 22,45$ ps y $202,54 \pm 32,05$ mg/100 g ps para la harina de Kiwicha y quinua respectivamente, superando las cifras reportadas en otros estudios, como 75,69 mg/100 g para HKG (Paucar et al., 2017) y 122.32 mg/100 g para HQG (Paucar et al., 2017). El aumento de las cantidades de GABA en los brotes se atribuye a

la activación de la enzima glutamato-descarboxilasa (GAD) durante la germinación, que es involucrada en la conversión de glutamato a GABA (Paucar et al., 2022).

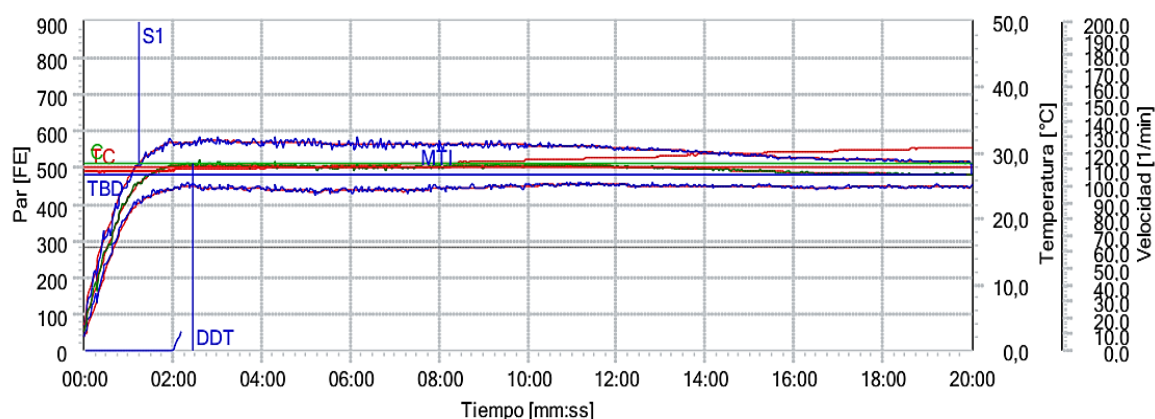
En cuanto a la capacidad antioxidante la mayoría de los estudios señalan que la germinación puede mejorarla significativamente, atribuyendo este efecto al aumento de algunos componentes antioxidantes en los granos germinados, como las vitaminas antioxidantes y los polifenoles (Gan et al., 2019). La HKG tiene una capacidad antioxidante, de 21,56 mmol de Trolox equivalentes (TE)/100 g ps (Nemzer et al., 2019). Otros estudios informan que los valores máximos de la capacidad antioxidante son obtenidos al cuarto día de la germinación para la kiwicha y al sexto día para la quinua (Pasko et al., 2009). Sin embargo, en el presente trabajo no fue necesario periodos largos de germinación, empleando así 63 y 42 h para la Kiwicha y quinua, respectivamente, debido a que se trabajaron con parámetros optimizados de operación publicados por Paucar et al. (2017). Aguilar y Romero (2018) determinaron la Capacidad secuestradora del DPPH, ABTS expresada en mg TE/g de muestra en cuatro variedades de kiwicha obteniendo un incremento de 1.5 veces para DPPH y 2 veces para ABTS en relación a la semilla sin germinar y germinada en la variedad Centenario, valores similares a los reportados por Chamorro et al. (2018). Sin embargo, difiere de lo hallado por Hinostroza (2020), quien reporta una disminución de la capacidad antioxidante para atrapar DPPH de 1233,86 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g ps}$ a 435,11 $\mu\text{mol TE}/100\text{g ps}$ en la quinua variedad Pasankalla,

4.3. Caracterización reológica de la harina de trigo (*T. aestivum*)

El farinógrafo mide la consistencia de la masa mediante la fuerza necesaria para mezclarlo a una velocidad constante y la absorción de agua necesaria para alcanzar la consistencia (Olano, 2018). En esta investigación, el gráfico obtenido

(ilustración 9) es característico de la harina de trigo, los parámetros farinográficos fueron: 56% de absorción de agua a 500 unidades farinográficas, tiempo de medida de 20 minutos, tiempo de desarrollo de 2,28 minutos, estabilidad de 11,8 minutos e índice de tolerancia de 6 FE.

Ilustración 8: Farinograma de harina de trigo



Si bien la harina de trigo blando se recomienda para la elaboración de productos de pastelería y galletas, mientras que la harina de trigo duro para la elaboración de productos de panadería y pastas (Quayson et al., 2016); según la NTP 206.010 (2016) la pasta puede ser elaborada a partir de harina de trigo, de las especies *Triticum aestivum* o *Triticum durum*. Los resultados obtenidos fueron correspondientes a la de harina de trigo blando, la cual tiene menor capacidad de absorción de agua en comparación con la harina de trigo duro debido a su mayor contenido de proteínas.

La red de gluten proporciona a la masa de pasta sus propiedades viscoelásticas únicas, sin embargo, el contenido de gluten se reduce en las diferentes formulaciones debido a la sustitución de la harina de trigo, el porcentaje de proteínas se ve incrementado, el cual contribuiría a mantener propiedades reológicas de la masa similares a las de la muestra control (Coello et al, 2021).

- 4.4. Optimización de la sustitución de harina trigo por harina de cushuro (*Nostoc sphaericum*) y harina de granos germinados de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y quinua (*Chenopodium quinoa*) en función de las características tecnológicas de las pastas formuladas, los antinutrientes, compuestos bioactivos, y capacidad antioxidante.**

Elaboración de las pastas:

La elaboración de las pastas alimenticias siguió las operaciones indicadas en la ilustración 10. El anexo 4 muestra imágenes del proceso de elaboración.

Recepción de la materia prima

Los insumos que se emplearon en la elaboración de las pastas alimenticias fueron: harina de trigo, harina de quinua y kiwicha germinada, harina de cushuro, huevos y agua.

Formulación

La formulación se llevó a cabo según los 14 tratamientos establecidos anteriormente. Por cada tratamiento se emplearon 2 huevos y cantidad de agua suficiente para completar 350mL de solución por kg de mezcla de harinas.

Mezclado y amasado

El mezclado y amasado se llevó a cabo por 15 min a temperatura ambiente en la extrusora en frío PASTAIA 2 del Instituto de Investigación Agroindustrial - IITA de la Universidad Nacional del Santa.

Laminado y extruido

Fue realizado por la extrusora en frío PASTAIA 2, este proceso tuvo una duración de 10 minutos aproximadamente, obteniendo pastas en forma de fetuccini, los cuales fueron recibidos en bandejas.

Almacenamiento

Las pastas fueron almacenadas en bolsas de polietileno a temperatura ambiente.

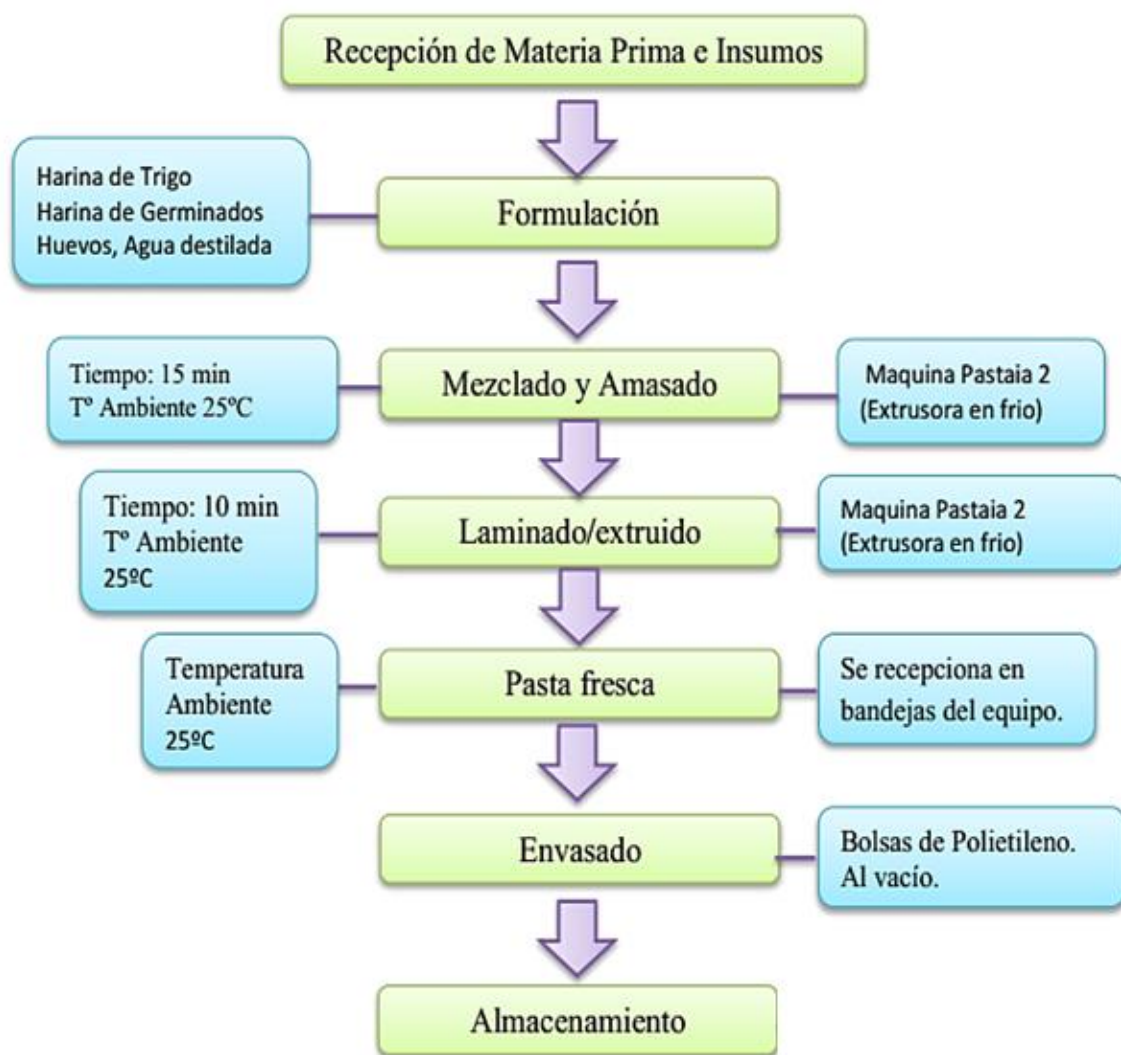


Ilustración 9: proceso de elaboración de las pastas alimenticias

4.4.1. Optimización de la pasta con sustitución de harina trigo por harina de cushuro (*Nostoc sphaericum*) y harina quinua (*Chenopodium quinoa*) germinada

Análisis de las características tecnológicas

Para las 14 muestras se analizaron color instrumental, tiempo de cocción, % aumento de peso, % pérdida de sólidos, firmeza y fuerza de rotura.

Tabla 14: Calidad tecnológica de la pasta con sustitución parcial de HQG y harina de cushuro.

N°	FORMUACIONES			CALIDAD TECNOLÓGICA							
				COLOR DE LA PASTA			TIEMPO DE COCCIÓN	AUMENTO DE PESO	PERDIDA DE SOLIDOS	FIRMEZA	FUERZA DE ROTURA
	%HT	%HQG	%HC	L	a	b	min	%	%	N	N
B	100	0	0	81,00±0,05	0,89±0,05	14,79±0,03	6	114,75	0,47		2.95±0,43
Q1	70	15	15	62,95±0,03	0,59±0,03	11,34±0,05	10	265,12	1,96	3,25±0,33	1,83±0,22
Q2	80	5	15	67,22±0,07	0,12±0,07	11,55±0,07	12	250,34	2,33	3,09±0,27	1,95±0,30
Q3	80	15	5	61,72±0,07	1,73±0,07	12,04±0,10	10	214,02	1,38	3,49±0,18	2,25±0,28
Q4	75	10	15	66,66±0,07	0,76±0,07	12,23±0,05	10	262,97	3,28	2,70±0,28	1,96±0,34
Q5	75	15	10	62,71±0,04	1,75±0,04	12,05±0,05	10	254,78	1,60	3,23±0,22	2,45±0,25
Q6	80	10	10	68,61±0,04	0,77±0,04	10,15±0,04	11	218,63	1,43	2,68±0,26	1,87±0,20
Q7	76	12	12	65,41±0,05	0,72±0,05	12,34±0,05	12	254,46	1,41	2,71±0,20	2,15±0,28
Q8	74	13	13	63,85±0,03	0,55±0,03	12,39±0,05	13	163,73	1,53	2,55±0,20	1,58±0,17
Q9	79	8	13	62,88±0,08	0,28±0,08	10,73±0,03	12	259,80	2,11	2,26±0,12	2,00±0,20
Q10	79	13	8	60,23±0,02	1,48±0,02	11,58±0,04	10	200,50	1,36	3,08±0,17	1,87±0,23
Q11	80	15	5	66,75±0,04	1,42±0,04	12,09±0,04	10	207,32	2,05	3,49±0,18	2,25±0,28
Q12	80	10	10	68,62±0,11	0,74±0,11	10,12±0,04	11	216,44	1,43	2,68±0,26	1,87±0,20
Q13	70	15	15	63,54±0,03	0,50±0,03	11,58±0,04	10	252,65	3,00	3,25±0,33	1,83±0,22
Q14	80	5	15	67,23±0,02	0,12±0,02	11,52±0,03	12	248,02	2,04	3,09±0,27	1,95±0,30

B: blanco, HT: harina de trigo, HQG: HQG, HC= harina de cushuro

Color instrumental

Se trituraron 10 g de muestra uniformemente, se determinó el color mediante el método triestímulo CIELab empleando un colorímetro Konika Minolta modelo chroma Meter – CR 400. Los resultados se expresan como los valores de L* (luminosidad; 0 = negro, 100 = blanco), a* (+a* = rojez, -a* = verdosidad), b* (+b* = amarillez, -b* = azulado)



Ilustración 10: Formulaciones de la pasta con sustitución de HQG y harina de cushuro

Según el análisis de varianza (ANOVA) para la componente L (luminosidad) del

color del producto crudo no fue estadísticamente significativo ($p = 0.1$). El modelo que presenta mejor ajuste es el lineal por tener el efecto estadístico significativo más próximo al valor del nivel de confianza del 95% (Anexo 5) con un R^2 de 0.34. El modelo queda expresado como:

$$L = 62.92 * (\%HT) + 67.64 * (\%HQG) + 63.92 * (\%HC)$$

El ANOVA para la componente de cromaticidad **a** del color del producto crudo fue estadísticamente significativo ($p < 0.05$). El modelo que presenta mejor ajuste es el cuartico especial con un R^2 de 0.98 (Anexo 5) Según el análisis el modelo queda expresado como:

$$a = 0.54 * (\%HT) + 0.12 * (\%HQG) + 1.57 * (\%HC) + 1.67 * (\%HT)(\%HQG) + 2.72 * (\%HT)(\%HC) - 42.57 * (\%HT)^2(\%HQG)(\%HC)$$

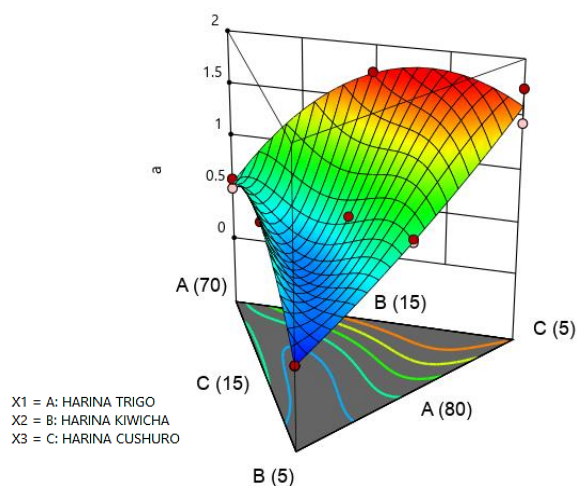


Ilustración 11: Gráfico de superficie de respuesta para componente **a** del color instrumental de la pasta con HQG

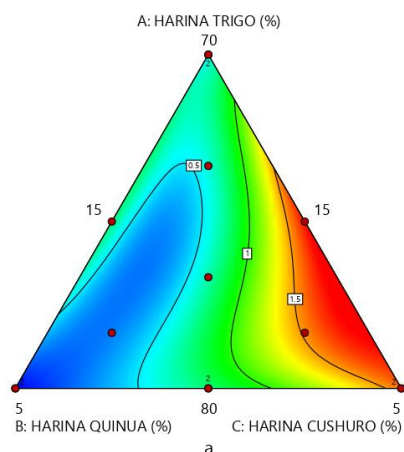


Ilustración 12: Gráfico de contornos para componente **a** del color instrumental de la pasta con HQG

Por último, según el ANOVA para la componente de cromaticidad **b** del color del producto crudo fue estadísticamente significativo ($p < 0.05$). El modelo que presenta mejor ajuste es el cuadrático especial con un R^2 de 0.96 (Anexo 5). Según el análisis el modelo queda expresado como:

$$b = 11.44*(\%HT) + 11.52*(\%HQG) + 12.04*(\%HC) + 2.71*(\%HT)(\%HQG) - 6.73*(\%HQG)(\%HC) + 69.31*(\%HT)^2(\%HQG)(\%HC)$$

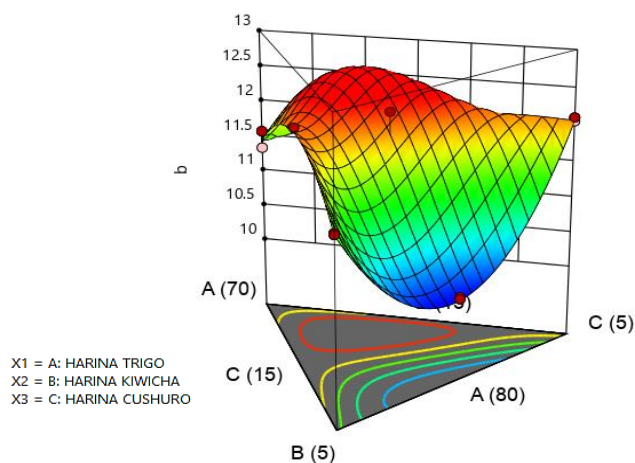


Ilustración 13: Gráfico de superficie de respuesta para componente **b** del color instrumental de la pasta con HQG

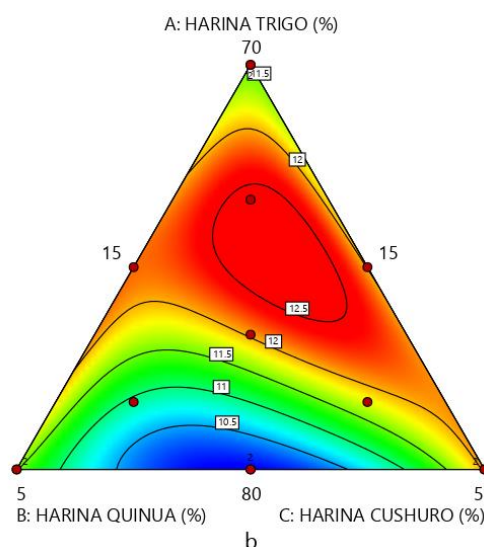


Ilustración 14: Gráfico de contornos para componente **b** del color instrumental de la pasta con HQG

Los gráficos de superficie respuesta y de contornos para los tres componentes del color demuestran su comportamiento según los tratamientos. Se puede observar que el componente L (luminosidad) es inferior en todos los tratamientos en relación al blanco. Asimismo, a medida que se incrementa el porcentaje de harina de cushuro se presenta un amarillismo (b) y enrojecimiento (a) reducido, aumentando este último cuando la cantidad de cushuro disminuye. Resultados similares fueron reportados por Xing et al. (2022), quien demostró que a medida que aumenta la cantidad de sustitución de HQG el color de la pasta varió de un blanquecino a un marrón pálido. Por otro lado, se observó que a y b aumentaban para las pastas con sustitución del 10 al 30% por HQG ($p > 0.05$). En relación a ello, Pantoja y Prieto (2014) elaboraron pastas con sustitución parcial de harina de quinua y Tarwi, destacando pérdida de luminosidad comparada con su muestra control de solo sémola de trigo, sobre todo al transcurrir los días de almacenamiento.

Tiempo de cocción

Para el tiempo de cocción, se tomaron 10 g de cada muestra y se colocó cada una en 140 mL de agua, sometiéndola a ebullición hasta notar que desaparece el eje central.

Según el ANOVA para el tiempo de cocción del producto crudo, este fue estadísticamente significativo ($p < 0.05$), variando de entre 10 y 13 min. El modelo que presenta mejor ajuste es el cuadrático especial con un R^2 de 0.98 (Anexo 5). Según el análisis el modelo queda expresado como:

$$\text{Tiempo de cocción} = 10.02*(\%HT) + 12.02*(\%HQ) + 10.02*(\%HC) - 3.76*(\%HT)(\%HQ) + 246.52*(\%HT)^2(\%HQ)(\%HC) - 112.04*(\%HT)(\%HQ)(\%HC)^2$$

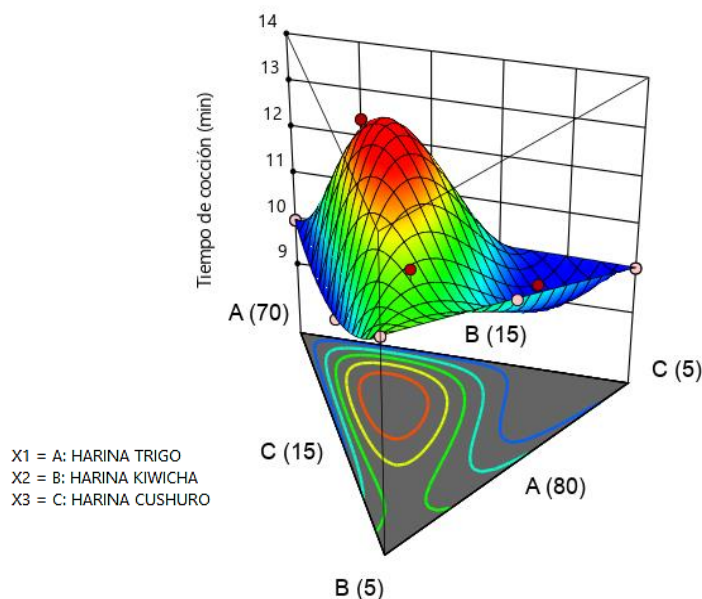


Ilustración 15: Gráfico de superficie de respuesta para el tiempo de cocción de la pasta con HQG

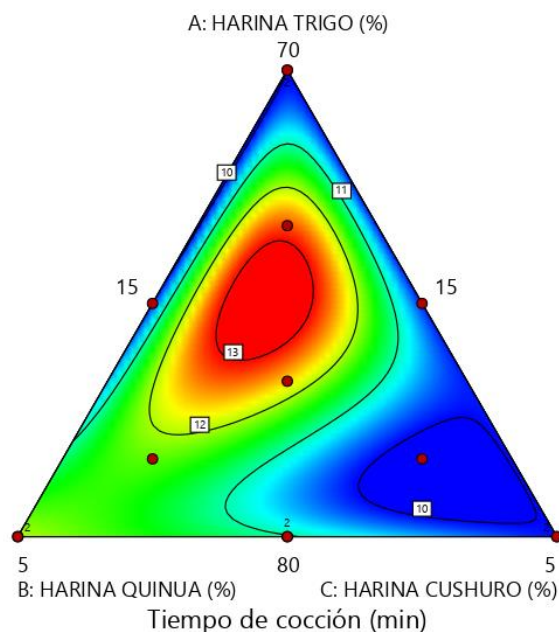


Ilustración 16: Gráfico de contornos para el tiempo de cocción de la pasta con HQG

Las ilustraciones 16 y 17 muestran que a mayor sustitución de la harina de trigo mayor es el tiempo de cocción y alcanza un pico cuando la sustitución de HQG y harina de cushuro es de 13% en ambas.

Según Boukid et al. (2022), el ablandamiento durante la cocción se debe a la penetración del agua y la gelatinización del almidón que comienza desde la superficie y avanza hacia el centro de la pasta.

En esta investigación el tiempo de cocción del blanco (muestra control 100% harina de trigo) fue de 6 min, es decir inferior a lo obtenido en los demás tratamientos, lo cual difiere con lo reportado por Xing et al. (2022) donde las pastas con sustitución de HQG obtuvieron menor tiempo de cocción en comparación de la pasta 100% trigo. Cabe resaltar que la muestra control tuvo un tiempo de cocción de 5 min aproximadamente, valor similar a lo obtenido en esta investigación, el aumento del tiempo de cocción pudo deberse a la incorporación de la harina de cushuro.

En relación a ello Granito y Ascanio (2009) sugieren que a medida que se incrementa el porcentaje de fibra en las pastas alimenticias también se incrementa el tiempo de cocción óptimo, debido a que existe una competencia por el agua entre la fibra y el almidón, esto podría explicar los resultados de esta investigación, donde se ha incorporado a las mezclas fibra por parte de las harinas germinadas y por la harina de cushuro que contiene un 19.77% de fibra.

Aumento de peso

El aumento de peso del producto se determinó pesando cada pasta antes y después de la cocción de 10 g de muestra.

Según el ANOVA para el aumento de peso del producto cocido, este no fue estadísticamente significativo ($p = 0.23$), variando de entre 207,3% y 265,12%. El modelo que presenta mejor ajuste es el cuadrático especial con un R^2 de 0.76 (Anexo 5). Según el análisis el modelo queda expresado como:

$$\text{Aumento de peso} = 257.05*(\%HT) + 247.35*(\%HQ) + 208.84*(\%HC) - 6866.1*(\%HT)^2(\%HQ)(\%HC) + 5068.38*(\%HT) (\%HQ)^2(\%HC)$$

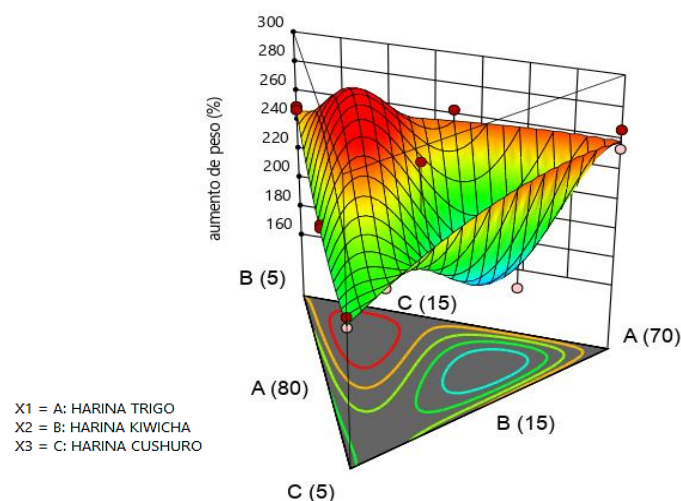


Ilustración 17: Gráfico de superficie de respuesta para el aumento de peso de la pasta con HQG

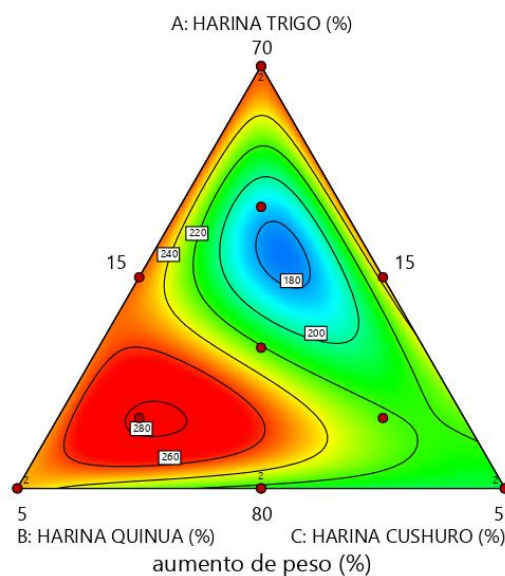


Ilustración 18: Gráfico de contornos para el aumento de peso de la pasta con HQG

Se puede observar en las ilustraciones un pico inferior y uno superior, se alcanza mayor aumento del peso a medida que disminuye la concentración de harina de trigo. En otras palabras, a medida que la sustitución por HQG y cushuro es mayor el aumento de peso también incrementa. Xing et al. (2022) encontró resultados similares en sus pastas formuladas con HQG y sin germinar, obteniendo aproximadamente 225% de absorción de agua, concluyendo que la adición de harinas de quinua diluye la fuerza del gluten y contribuye a que el agua se filtre más fácilmente en los gránulos de almidón, promoviendo la hidratación y la capacidad de hinchamiento del almidón. Similares resultados fueron obtenidos por Granito, Pérez y Valero (2014) donde la absorción de agua fue mayor en pastas con sustitución de harina de leguminosas variando de un 171% en pasta de sémola de trigo hasta 185% en pastas con sustitución.

Pérdida de sólidos

La pérdida de sólidos se determinó tomando 25 mL de agua de cocción y secándolo en una estufa POL-EKO-APARATURA SP.J. para luego comparar el peso antes y después del secado.

Según el ANOVA para la pérdida de sólidos del producto cocido, este no fue estadísticamente significativo ($p < 0.05$), variando de entre 1.68% y 3.27%. El modelo que presenta mejor ajuste es el cuartico especial con un R^2 de 0.83 (Anexo 5) Según el análisis el modelo queda expresado como:

$$\begin{aligned} \text{Pérdida de sólidos} = & 2.48*(\%HT) + 2.18*(\%HQ) + 1.71*(\%HC) + \\ & 3.73*(\%HT)(\%HQ) - 2.05*(\%HT)(\%HQ) - 2.08*(\%HQ)(\%HC) - \\ & 71.74*(\%HT)^2(\%HQ)(\%HC) + 7.52*(\%HT)(\%HQ)^2(\%HC) + \\ & 4.05*(\%HT)(\%HQ)(\%HC)^2 \end{aligned}$$

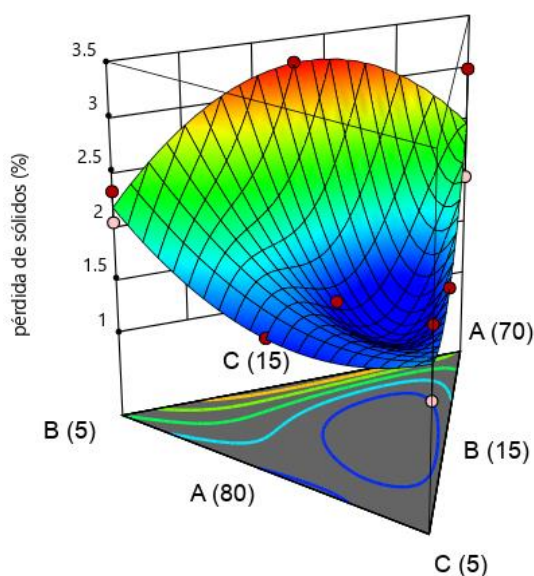


Ilustración 19: Gráfico de superficie de respuesta para la pérdida de sólidos de la pasta con HQG

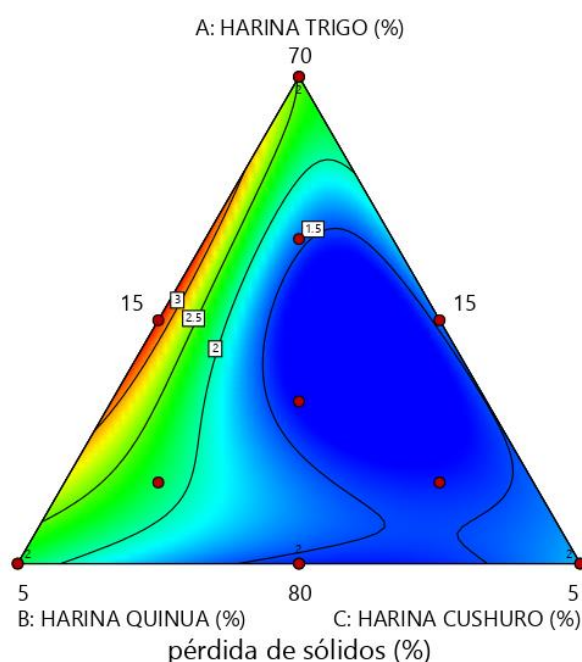


Ilustración 20: Gráfico de contornos para la pérdida de sólidos de la pasta con HQG

La pérdida de sólidos es un indicador de calidad de la pasta, considerándolo como la resistencia a la desintegración por cocción en agua (Larrosa, 2014). En una pasta de buena calidad la pérdida de sólidos por cocción debe ser menor de 10% (Xing et al., 2022). En este estudio todas las formulaciones de pastas están por debajo de 4% de pérdida de sólidos, siendo la mayor pérdida de 3,28% para el tratamiento 4 (70% HT, 10%HQ y 15%HC) y la menor de 1,36% para el tratamiento 10 (79% HT, 13%HQ, 8%HC).

Larrosa (2014) indica que cuando existe una mayor cantidad de almidón y una red proteica no muy bien estructurada se dificulta la absorción de agua y se facilita la dispersión de sólidos. Asimismo, al aumentar el contenido de proteínas se forma una red más cerrada en la masa que no permite la salida de solidos hacia el agua de cocción, lo que podría explicar los valores bajos de perdida de sólidos en esta investigación. Según Granito, Pérez y Valero (2014) la pérdida de sólidos se debe a la lixiviación de compuestos como la amilosa o solubilización de

proteínas solubles y sales en el agua de cocción, ocasionando que las pastas pierdan su forma si se dejan más tiempo en agua caliente. Al incorporarse HQG también se incrementan las proteínas lo que podría generar mayor pérdida de estas, adicionalmente la harina de cushuro también aporta minerales que pueden disolverse en el agua de cocción.

Firmeza

Según el ANOVA para la firmeza del producto cocido, este fue estadísticamente significativo ($p < 0.05$), variando de entre 2,26 N y 3,49 N. El modelo que presenta mejor ajuste es el cuadrático con un R^2 de 0.87 (Anexo 5). Según el análisis el modelo queda expresado como:

$$\text{FIRMEZA} = 3.27*(\%HT) + 3.06*(\%HQG) + 3.53*(\%HC) - 2.55*(\%HT)(\%HQG) - 2.60*(\%HQG)(\%HC)$$

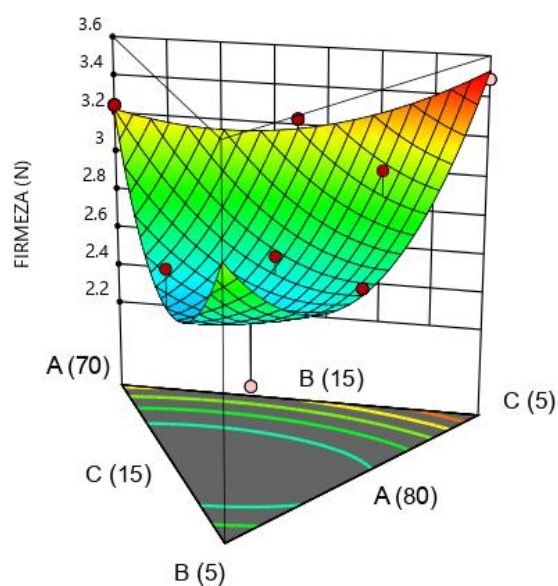


Ilustración 21: Gráfico de superficie de respuesta para la firmeza de la pasta con HQG

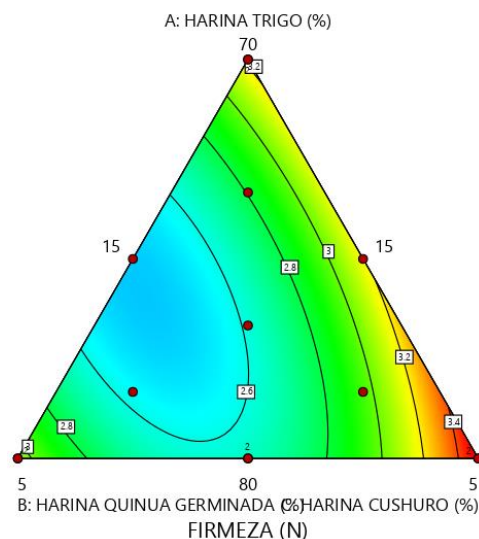


Ilustración 22: Gráfico de contornos para la firmeza de la pasta con HQG

Como se puede observar en la ilustración 22 y 23, la firmeza aumenta a medida que disminuye la concentración de harina de cushuro y disminuye conforme la concentración de HQG incrementa. Durante la elaboración de la pasta, la etapa del secado juega un papel importante, ya que, debido al calor, la proteína se coagula formando una red proteica alrededor de los gránulos de almidón con una fuerza y firmeza realzadas; evitando de esta manera que los gránulos de almidón pasen al agua de cocción (Cárdenas, 2012). Otro aspecto importante es el porcentaje de sustitución en la masa, Xing et al. (2022) reportó que a medida que la sustitución de la harina de trigo por HQG (de 20 – 30% de sustitución) se incrementa, las pastas pierden firmeza, debido a la interrupción de la red de gluten. De igual manera Espinoza, Gamarra y Tarazona (2018) elaboraron pastas con sustitución de harina de quinua y espinaca, estas obtuvieron menor firmeza que la muestra control (solo harina de trigo) de tal manera que las muestras con sustituciones de 10% indicaron mejor firmeza que las muestras con sustitución del 20 - 30%. Asimismo, Vidaurre, Salas y Carrasco (2019) reportaron disminución de la firmeza a medida que aumentaba la sustitución en pastas con

harina de trigo, quinua, kiwicha y Tarwi debido a la disminución del contenido de almidón de las masas. En contraste, Rojas (2013) determinó que mientras el porcentaje de sustitución de harina de quinua en pastas se incrementa, la firmeza también se eleva, obtuvo así un valor para la firmeza de 1,4 Kgf para pastas en las que el nivel de sustitución del trigo fue del 15% con harina de quinua, mientras que en la presente investigación se obtuvo 0.35 Kg f (3,49 N) como máximo, perteneciente al tratamiento Q3 (80%HT, 15%HQG y 5%HC)

Fuerza de Rotura

Según el ANOVA para la fuerza de rotura del producto cocido, este no fue estadísticamente significativo ($p = 0.1854$), variando de entre 1,58 N y 2,45 N. El modelo que presenta mejor ajuste es el cuartico especial con un R^2 de 0,79 (Anexo 5). Según el análisis el modelo queda expresado como:

$$\begin{aligned} \text{FUERZA DE ROTURA} = & 1.82*(\%HT) + 1.94*(\%HQG) + 2.23*(\%HC) + \\ & 0.13*(\%HT)(\%HQG) + 1.48*(\%HT)(\%HC) - 0.97*(\%HQG)(\%HC) - \\ & 31.02*(\%HT)^2(\%HQG)(\%HC) + 30.50*(\%HT)(\%HQG)^2(\%HC) - \\ & 11.86*(\%HT)(\%HQG)(\%HC)^2 \end{aligned}$$

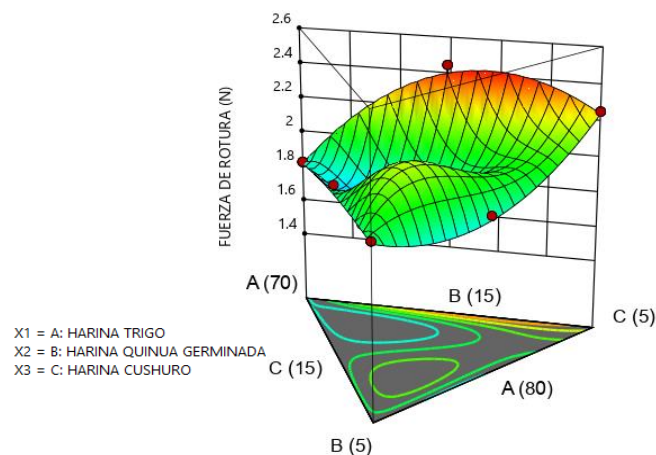


Ilustración 23: Gráfico de superficie de respuesta para la fuerza de rotura de la pasta con HQG

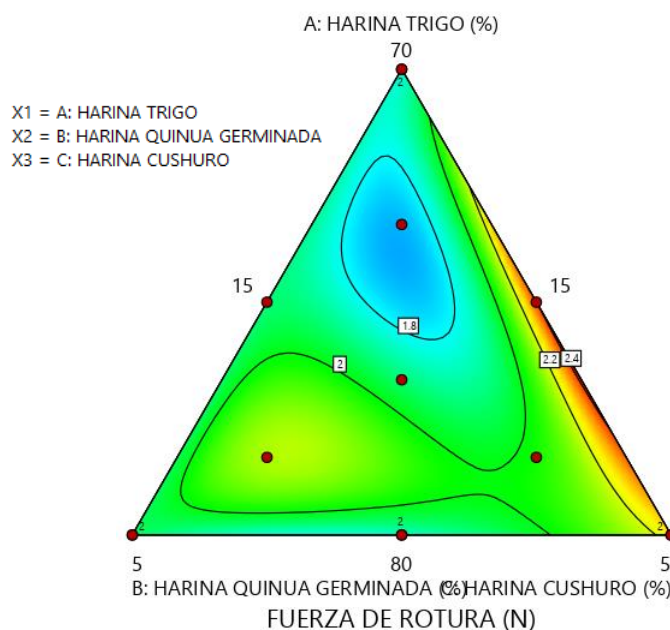


Ilustración 24: Gráfico de superficie de respuesta para la fuerza de rotura de la pasta con HQG

Según los datos obtenidos la menor fuerza de rotura la registró el tratamiento Q8 (74%HT, 13%HQG, 13%HC) con $1,58 \pm 0,17$ N, mientras la mayor la obtuvo el tratamiento Q5 (75%HT, 15%HQG, 10%HC) con $2,45 \pm 0,25$ N, aunque se debe considerar que no hay diferencia significativa entre los datos obtenidos.

Buele (2017) elaboró pastas con sustitución parcial con almidón de fruta pan, reportó que la fuerza de rotura no presentó diferencia significativa hasta alcanzar una sustitución de un 30%.

El estudio de López-Mejía y Morales (2020) indica que en pastas con sustitución parcial con pulpa de zapallo deshidratada existe una tendencia en disminuir la fuerza de rotura a medida que la concentración de pulpa de zapallo aumenta. Indica también a que mayor contenido de grasa y humedad, la fuerza de rotura disminuye, debido a la naturaleza plastificante y suavizante de la grasa, y la influencia en la interacción de los otros constituyentes de las formulaciones por parte del agua. En contraste De la Cruz (2020) trabajó con pastas con sustitución

de harina de quinua y chontaduro, informó mayor fuerza de rotura para las pastas con sustitución de 30% harina de quinua y para pastas con 30% harina de quinua y 20% chontaduro. Esto fue debido a que la disminución de sémola de trigo en las mezclas genera una matriz almidón-proteína-agua más rígida, requiriendo así una fuerza de rotura mayor.

Análisis de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fítico de la pasta formulada con sustitución de HQG y harina de cushuro

Para las 14 muestras de pasta se evaluó el contenido total de compuestos fenólicos solubles (expresado en mg GAE/100 g ps), el contenido de GABA (en mg/100 g ps) y la capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) (en μ moles TE/mg ps). En la Tabla 10, se muestra los resultados obtenidos de cada parámetro analizado en cada una de las formulaciones de pasta.

Tabla 15: Análisis de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fólico de las pastas para diferentes formulaciones.

N°	Formulaciones			Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante			ácido fólico (g/100 g ps)
	X1: HT (%)	X2: HQG (%)	X3: HC (%)	TPC (mg GAE /100 g ps)	GABA (mg /100 g ps)	ORAC (μmol TE/ g ps)	
Q1	70	15	15	169,3±15,52	8,67±0,58	16,70±1,39	0,23±0,01
Q2	80	5	15	107,34±6,77	8,13±0,02	13,35±1,32	0,16±0,03
Q3	80	15	5	163,18±9,96	22,78±1,35	21,64±1,15	0,25±0,01
Q4	75	10	15	142,76±4,27	9,42±0,34	17,33±1,00	0,19±0,01
Q5	75	15	10	146,15±7,04	5,35±5,71	22,90±1,17	0,22±0,01
Q6	80	10	10	122,77±5,27	12,4±0,80	16,92±1,28	0,2±0,03
Q7	76	12	12	140,11±5,90	9,71±0,48	17,15±1,17	0,16±0,02
Q8	74	13	13	150,15±9,80	10,19±0,19	14,86±1,11	0,16±0,03
Q9	79	8	13	127,07±10,4	8,37±0,09	14,03±1,33	0,14±0,03
Q10	79	13	8	158,94±7,98	17,7±0,19	22,10±0,73	0,27±0,01
Q11	80	15	5	163,18±9,96	22,78±1,35	21,64±1,15	0,25±0,01
Q12	80	10	10	122,77±5,27	12,4±0,80	16,92±1,28	0,2±0,03
Q13	70	15	15	169,3±15,52	8,67±0,58	16,70±1,39	0,23±0,01
Q14	80	5	15	107,34±6,77	8,13±0,02	13,35±1,32	0,16±0,03
Control	100	-	-	121,03±6,12	14,75±0,44	15,46±1,41	0,02±0,00

Media ± desviación estándar de 6 repeticiones

Contenido de polifenoles totales (TPC)

El ANOVA (Anexo 6) indicó que de los modelos estadísticos el seleccionado es el modelo cuadrático especial por presentar $p < 0.001$ y R^2 de 0.993 con un nivel de confianza del 95%. La siguiente ecuación que describe el TPC en función de la composición de la harina:

$$\text{TPC} = 169.53 * (\text{HT}\%) + 107.57 * (\text{HQG}\%) + 163.41 * (\text{HC}\%) - 77.58 * (\% \text{HT})(\% \text{HC}) - 49.03 * (\% \text{HQG})(\% \text{HC}) + 1320.92 * (\% \text{HT})(\% \text{HQG})(\% \text{HC})^2$$

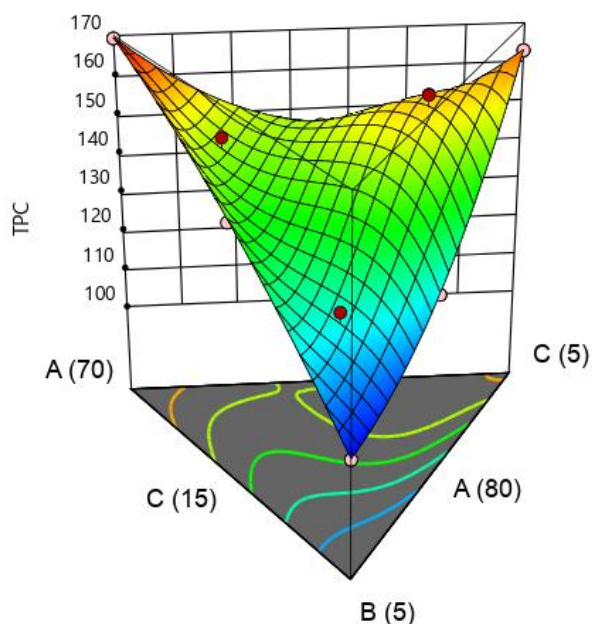


Ilustración 25: Gráfico de superficie respuesta para TPC de la pasta formulada con HQG

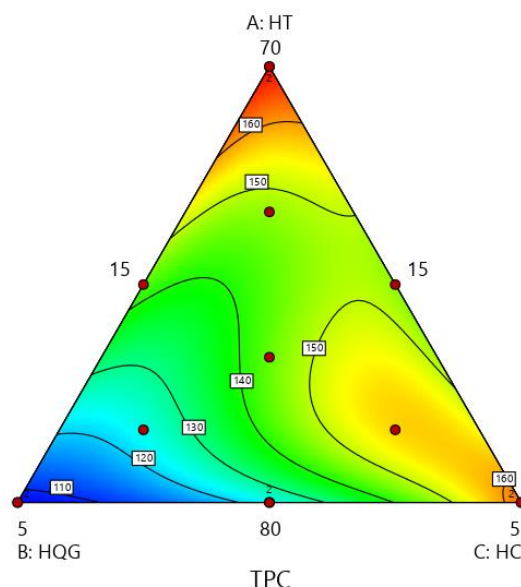


Ilustración 26: Gráfico de contornos para TPC de la pasta formulada con HQG

El contenido de TPC de las pastas elaboradas con sustitución de HQG se pueden observar en la Tabla 10. El contenido de TPC varía de $107,34 \pm 6,77$ a $169,3 \pm 15,52$ mg GAE /100 g ps, perteneciendo este último a la formulación Q1 (70%HT, 15%HQG y 15%HC) seguido de las formulaciones Q3 y Q10. Es notable que el TPC es directamente proporcional a la concentración de la HQG. En los gráficos de puede observar que el mayor contenido de TPC corresponde a las formulaciones con mayor sustitución de HQG. La comparación del TPC de la muestra control ($121,03 \pm 6,12$ mg GAE /100 g ps) y la pasta Q1 ($169,3 \pm 15,52$ mg GAE /100 g ps) indica que el TPC se ve incrementado con la germinación. En consistencia con nuestros resultados, Paucar et al. (2017) demostró que mediante la germinación en condiciones óptimas es posible mejorar notablemente el TPC en las semillas de los pseudocereales.

El estudio de Carpentieri et al. (2022) sugiere la posibilidad de una disminución de los compuestos fenólicos durante el proceso de extrusión, atribuida a la interacción de agua, oxígeno y calor generados durante el amasado en el extrusor. A pesar de esta consideración, se observa un incremento en el contenido de TPC en el producto final. Este aumento se debe al elevado TPC en

la HQG (525,50±38,14 mg GAE/100 g ps) como al aporte de la harina de cushuro (306,48±22,91 mg GAE/100 g ps). La incorporación de pseudocereales y otras fuentes ricas en polifenoles no solo enriquece el valor nutricional de las pastas en estado crudo, sino que también aporta beneficios incluso después de la cocción. Es importante tener en cuenta que, durante la cocción, podría reducirse el TPC debido a la temperatura y lixiviación hacia el agua de cocción (Durazzo et al., 2014)

Contenido de GABA

El ANOVA (Anexo 6) señala que el seleccionado es el modelo cuadrático especial. Este modelo se elige debido a su significancia estadística ($p=0.042$) y coeficiente de determinación elevado ($R^2 = 0.983$), con un nivel de confianza del 95%. La ecuación que describe la relación del contenido de GABA en función de la composición de la harina es la siguiente:

$$\text{GABA} = 8.76*(\text{HT}\%) + 8.22*(\text{HQG}\%) + 22.87*(\% \text{ HC}) - 40.42*(\text{HT}\%)(\% \text{ HC}) - 11.86*(\text{HQG}\%)(\% \text{ HC}) + 365.14*(\text{HT}\%)(\text{HQG}\%)(\% \text{ HC})^2$$

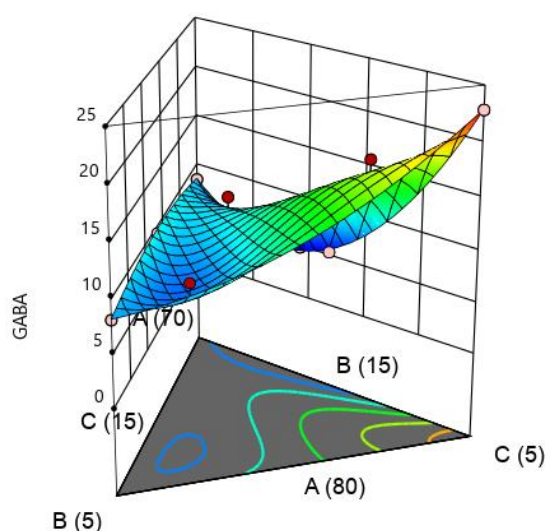


Ilustración 27: grafico de superficie respuesta para contenido de GABA en pasta con sustitución de HQG

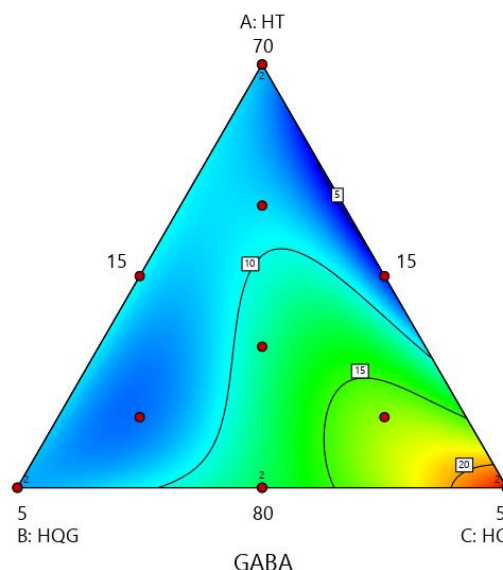


Ilustración 28: gráfico de contornos para contenido de GABA en pastas con sustitución de HQG

El contenido de GABA de las pastas formuladas con la sustitución de harina de trigo por quinua y cushuro se presenta en la Tabla 10. El contenido de GABA varía entre $8,37 \pm 0,09$ y $22,78 \pm 1,35$ mg /100 g ps. La formulación que alcanza el pico máximo es Q3 (80%HT; 15%HQG y 5%HC), seguido de Q10 y Q6.

Es destacable señalar que el contenido de GABA se incrementa a medida que aumenta el contenido de HQG y disminuye el contenido de harina de cushuro. En comparación con la pasta control ($14,75 \pm 0,44$ mg/100 g ps) el contenido de GABA se duplica prácticamente. La HQG es la principal contribuyente a este incremento, debido a su contenido inicial de $202,54 \pm 32,05$ mg/100 g ps. Este aumento puede explicarse por la activación durante la germinación del glutamato descarboxilasa (GAD), una de las principales enzimas implicadas en la formación de GABA. Paucar-Menacho et al. (2022) determinó el contenido de GABA en harina de trigo obteniendo 12,96 mg/100 g ps, por lo que se puede inferir que el trabajo mecánico durante la extrusión disminuye su porcentaje.

Esos resultados demuestran la viabilidad de obtener pastas saludables

enriquecidas con GABA mediante la adición de HQG. Investigaciones previas como la de Yang Ma et al. (2018), han explorado como el GABA influye en la acumulación de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en cebada germinada, destacando la importancia de la germinación para incrementar su calidad nutricional. En investigaciones similares, la inclusión de 30% de polvo de moringa germinada en la formulación de la pasta, arrojó resultados positivos no solo en el aumento de GABA sino también en la calidad nutritiva y funcional (Coello et al., 2021).

Se ha demostrado en diversas investigaciones los efectos beneficiosos del GABA para la salud humana, como sus propiedades antidiabéticas, la reducción de la presión arterial, la mitigación de la fatiga y la regulación del sueño. Es importante destacar que, preferentemente, se busca aumentar el contenido de GABA en los alimentos mediante métodos naturales, ya que la adición directa de GABA a los alimentos se considera insegura y antinatural (Yong, Ping y Quan, 2019). Por lo tanto, la germinación controlada se presenta como una estrategia clave en este contexto.

Actividad antioxidante (ORAC)

Se seleccionó el modelo cuadrático especial por presentar $p=0.001$ y R^2 de 0.992 con un nivel de confianza del 95%. La ecuación que describe la relación de la actividad antioxidante en función de la composición de la harina es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{ORAC} = & 16.66*(\%HT) + 13.31*(\%HQG) + 21.60*(\%HC) + 8.82*(\%HT)(\%HQG) \\ & + 14.51*(\%HT)(\%HC) - 367.85*(\%HT)^2(\%HQG)(\%HC) - \\ & 124.45*(\%HT)(\%HQG)^2(\%HC) + 248.29*(\%HT)(\%HQG)(\%HC)^2 \end{aligned}$$

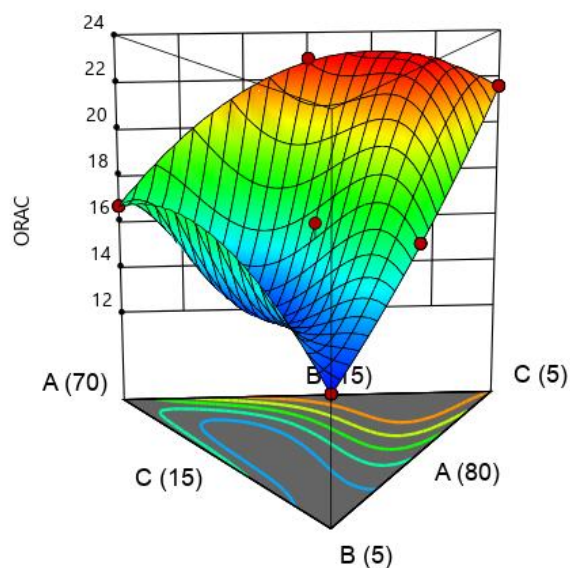


Ilustración 29: Gráfico de superficie respuesta para contenido de ORAC en pasta con sustitución de HQG

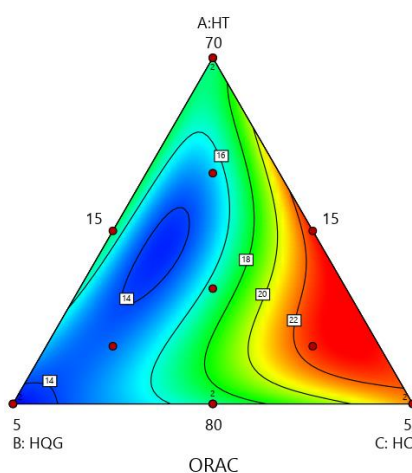


Ilustración 30: Gráfico de contornos para contenido de ORAC en pastas con sustitución de HQG

La actividad antioxidante, medida mediante el ensayo de ORAC, de las pastas formuladas con sustitución de HQG y cushuro se pueden observar en la Tabla 10. La actividad antioxidante osciló entre $13,35 \pm 1,32 \mu\text{mol TE/ g ps}$ y $22,90 \pm 1,17 \mu\text{mol TE/ g ps}$, siendo este último valor el más alto registrado en la formulación Q5 (75% HT, 15% HQG y 10% HC), seguido por las formulaciones Q10 y Q3.

Es notable observar que, al igual que para el contenido de GABA y TPC, a medida que aumenta la concentración de HQG también se incrementa la actividad antioxidante en la pasta. En comparación con la muestra control (100% HT) que presentó valores de ORAC de $15,46 \pm 1,41 \mu\text{mol TE/g ps}$, se pudo apreciar que el valor máximo de actividad antioxidante fue un 42% mayor a este valor de referencia.

Según Coello et al. (2021), el aumento de la actividad antioxidante sugiere el aumento del contenido de compuestos antioxidantes durante la germinación de semillas como las vitaminas C y E. Además, otros compuestos como las saponinas podrían actuar de forma sinérgica explicando el aumento del ORAC a medida que se incrementa la sustitución de harina de trigo con HQG. También, se ha señalado que los carotenoides presentes en la quinua roja ($14.97 \mu\text{g/g ps}$) (Campos, Acosta y Paucar, 2022), aunque no fueron analizados en esta investigación, también podrían contribuir a la capacidad antioxidante en las pastas como sugiere el estudio de Baah, Duodu y Emmambux (2022) en pastas sustituidas con harina de camote.

Con respecto a la harina de cushuro, no tuvo una influencia significativa en el incremento de ORAC en la pasta, ya que en comparación con la HQG, el valor de ORAC es considerablemente menor, siendo $15,46 \pm 1,41 \mu\text{mol TE/g ps}$.

Contenido de ácido fítico

Se seleccionó el modelo cuadrático especial por presentar un elevado coeficiente de determinación R^2 de 0.997 y significancia estadística ($p=0.0001$), con un nivel de confianza del 95%. La ecuación que describe la relación de contenido de ácido fítico en función de la composición de la harina es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{ÁCIDO FÍTICO} = & 0.23*(\%HT) + 0.16*(\%HQG) + 0.25*(\%HC) - \\ & 0.08*(\%HT)(\%HC) - 4.94*(\%HT)^2(\%HQG)(\%HC) - 3.84*(HT)(\%HQG)^2(\%HC) + \\ & 5.88*(\%HT)(\%HQG)(\%HC)^2 \end{aligned}$$

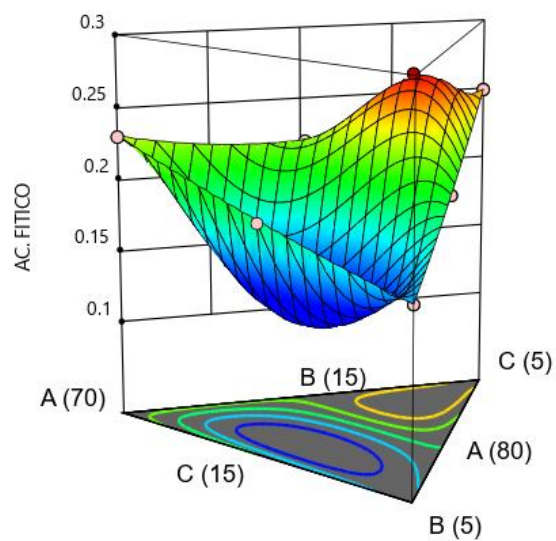


Ilustración 31: Gráfico de superficie respuesta para contenido de ácido fólico en pasta con sustitución de HQG

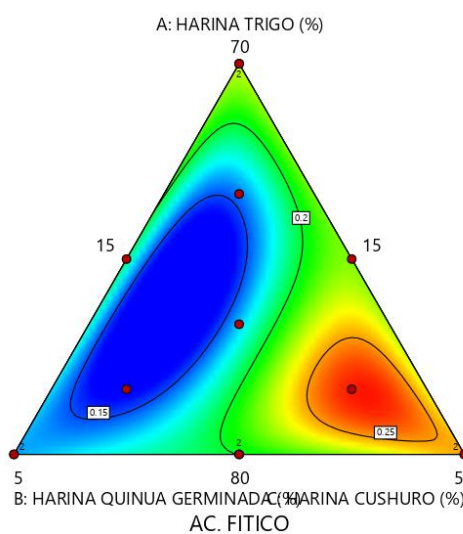


Ilustración 32: Gráfico de contornos para contenido de ácido fólico en pastas con sustitución de HQG

El contenido de ácido fólico de las pastas formuladas con sustitución de harina de trigo con HQG y cushuro se pueden observar en la tabla 10. La variación del contenido de ácido fólico oscila entre $0,14 \pm 0,01$ y $0,27 \pm 0,01$ g/100 g, siendo el valor mínimo registrado en la formulación Q9. En comparación con la formulación

control (100% HT) que tiene un contenido de $0,02 \pm 0,00$, no se observa una variación significativa.

Badshah et al. (2007) señala que la reducción del ácido fítico en los germinados se atribuye al aumento de la actividad de la fitasa durante la germinación. Mientras que Paucar-Menacho et al. (2017) determinó un contenido de ácido fítico en la harina de trigo de $0.09 \pm 0,01$ g/100 g p.s., resultado similar al de la presente investigación, 0.02 ± 0.00 g/100 g ps, en la formulación control en la que solo se emplea harina de trigo.

Albarracin (2014) resalta que la reducción de ácido fítico en alimentos que contienen Fe no hemo, como en el presente estudio proporcionado por la harina de cushuro, es beneficioso para la absorción de este mineral. Este autor explica que la pérdida de los grupos fosfato del mio-Inositol hexafosfato (ácido fítico) genera los derivados mio-inositol pentafofosfato, tetrafofosfato, trifosfato, difosfato y monofosfato, debido a que se ha comprobado que los compuestos con menos de 5 grupos fosfato poseen una mínima capacidad para interferir con la biodisponibilidad de los minerales. Esta hidrólisis puede ser catalizada por fitasas (activas en el leudado del pan, germinación, remojo, fermentación de granos) o también pueden atribuirse a las temperaturas de cocción de los alimentos u otros procesos como la molienda y la extrusión. Además, destaca que la reducción del ácido fítico también mejora la capacidad antioxidante, y el contenido de compuestos fenólicos.

Optimización conjunta de las variables de respuesta

Teniendo los modelos ajustados para cada respuesta (color instrumental, % aumento de peso, % pérdida de sólidos, tiempo de cocción, textura-firmeza y textura-fuerza de rotura, TPC, GABA, ORAC, ácido fítico), se procedió a realizar el método de optimización conjunta. Para establecer esta función se necesita tener un conocimiento previo de los rangos de valores deseables o del objetivo

de la variable (maximizar o minimizar).

Para las variables respuesta color instrumental, % aumento de peso, % pérdida de sólidos y textura-firmeza, TPC, GABA, ORAC, lo que se desea es maximizar los valores, mientras que, para el tiempo de cocción, textura-fuerza de rotura y ácido fítico lo que se requiere es minimizar.

Estos criterios fueron establecidos en el software Design Expert 11.1. Este método presenta varias soluciones que se muestran en la tabla 11. La mejor solución es aquella que presenta un valor de la función de deseabilidad más cercano a 1.

Tabla 16: Optimización conjunta de la pasta con sustitución de HQG y harina de cushuro

Number	Formulaciones			Parámetros tecnológicos								AC, FITIC O	Análisis de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante			Desirabi lity	
				Color instrumental			Tiempo de cocción	Aumento de peso	Pérdida de sólidos	Firmez a	Fuerz a de rotura		GABA	TPC	ORAC		
	HT	HQG	HC	L	a	b											
1	80,000	14,866	5,134	64,260	1,549	11,949	10,048	208,603	1,688	3,485	2,218	0,249	22,517	162,014	21,458	0,704	Selecte d
2	70,968	15,000	14,032	64,836	0,877	11,585	10,041	257,455	2,222	3,187	1,986	0,226	6,593	162,156	18,407	0,577	
3	74,785	14,518	10,697	62,803	1,452	12,371	10,963	213,523	1,340	3,055	2,103	0,215	8,103	148,855	21,067	0,544	
4	70,830	14,226	14,944	65,260	0,629	11,672	10,000	254,934	2,676	3,029	1,835	0,222	9,004	165,528	16,991	0,544	
5	76,630	8,370	15,000	64,882	0,633	12,099	10,506	253,689	3,114	2,548	1,928	0,180	9,556	133,041	16,411	0,404	

Como se puede observar la formulación que cumple con los requisitos de optimización es **Q3** con 80% de harina de trigo, 15% de HQG y 5% de harina de cushuro.

4.4.2. Optimización de la pasta con sustitución de harina trigo por harina de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) germinada y harina de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

Análisis de las características tecnológicas

Para las 14 muestras se analizaron color instrumental, tiempo de cocción, % aumento de peso, % pérdida de sólidos, firmeza y fuerza de rotura.

Tabla 17: Calidad tecnológica de la pasta con sustitución parcial de HKG y harina de cushuro.

N°	FORMULACIONES			CALIDAD TECNOLÓGICA							
	HT	HKG	HC	COLOR DE LA PASTA			TIEMPO DE COCCIÓN	AUMENTO DE VOLUMEN	PERDIDA DE SOLIDOS	FIRMEZA (N)	FUERZA DE ROTURA (N)
	%	%	%	L	a	b	min	%	%		
K1	70	15	15	62,04±0,01	-0,097±0,13	12,08±0,03	8	243,39	1,39	2,59±0,41	2,20±0,31
K2	80	5	15	65,59±0,02	-0,58±0,01	10,79±0,02	8	214,35	1,26	2,44±0,16	2,51±0,21
K3	80	15	5	63,17±0,01	-0,79±0,01	11,52±0,01	8	207,20	1,05	2,12±0,13	2,30±0,20
K4	75	10	15	64,38 ± 0,01	0,14±0,01	12,45±0,02	9	201,01	1,13	2,05±0,19	2,32±0,21
K5	75	15	10	64,823± 0,57	0,02±0,02	13,33±0,05	8	209,24	1,35	1,81±0,12	2,17±0,28
K6	80	10	10	65,92±0,03	0,33±0,02	12,74±0,04	10	210,56	1,13	2,44±0,16	2,73±0,28
K7	76	12	12	66,10±0,02	0,15±0,01	13,40±0,02	10	219,39	1,04	2,74±0,30	2,29±0,14
K8	74	13	13	62,48±0,02	-0,31±0,01	11,64±0,04	10	199,74	1,49	2,34±0,24	2,28±0,26
K9	79	8	13	61,51±0,02	0,13±0,02	12,26±0,05	11	213,52	1,29	1,86±0,16	2,41±0,21
K10	79	13	8	67,90±0,02	0,21±0,01	14,31±0,01	10	201,61	1,02	2,05±0,20	2,66±0,22
K11	80	15	5	67,20±0,02	0,17±0,01	13,44±0,04	8	208,41	1,10	2,12±0,13	2,30±0,20
K12	80	10	10	67,32±0,01	0,22±0,02	12,75±0,04	10	211,29	1,15	2,44±0,16	2,73±0,28
K13	70	15	15	62,84±0,15	-0,07±0,01	12,65±0,02	8	245,73	1,35	2,59±0,41	2,20±0,31
K14	80	5	15	63,39±0,02	-0,54±0,02	10,47±0,02	8	215,01	1,18	2,44±0,16	2,51±0,21
Control	100	0	0	81±0,05	0,89±0,05	14,79±0,03	6	114,75	0,47		

Color instrumental

Se trituraron 10 g de muestra uniformemente, se determinó el color mediante el método triestímulo CIELab, empleando un colorímetro Konika Minolta modelo chroma Meter. Los resultados se expresan como los valores de L* (luminosidad; 0 = negro, 100 = blanco), a* (+a* = rojez, -a* = verdosidad), b* (+b* = amarillez, -b* = azulado)



Ilustración 33: Formulaciones de la pasta con sustitución de HKG y harina de cushuro

Según el análisis de varianza para la componente L (luminosidad) del color del producto crudo no fue estadísticamente significativo ($p = 0.0894$). El modelo que presenta mejor ajuste es el lineal por tener el efecto estadístico significativo más próximo al valor del nivel de confianza del 95% (Anexo 5). El modelo queda expresado como:

$$L = 62.56*(\%HT) + 64.58*(\%HKG) + 66.50*(\%HC)$$

El análisis de varianza para la componente de cromaticidad **a** del color del producto crudo, no fue estadísticamente significativo ($p = 0.0715$). El modelo que presenta mejor ajuste es el cuadrático con un R^2 de 0.58 (Anexo 5). Según el análisis el modelo queda expresado como:

$$a = -0.13*(\%HT) - 0.53*(\%HQG) - 0.28*(\%HC) + 2.77*(\%HQG)(\%HC)$$

Por último, según el análisis de varianza para la componente de cromaticidad **b** del color del producto crudo no fue estadísticamente significativo ($p = 0.0742$). El modelo que presenta mejor ajuste es el cuadrático con un R^2 de 0.66 (Anexo 5). Según el análisis el modelo queda expresado como:

$$b = 12.16*(\%HT) + 10.63*(\%HKG) + 12.65*(\%HC) + 5.26*(\%HKG)(\%HC)$$

Se puede observar que el componente L (luminosidad) es inferior en todos los tratamientos en relación al blanco. Asimismo, a medida que se incrementa el porcentaje de harina de cushuro se presenta un amarillismo (b) y enrojecimiento (a) reducido, debido al color oscuro que esta cianobacteria presenta. Corpus et al. (2021) clasifica al cushuro en tres colores los cuales son marrón, verde claro y verde oscuro, siendo los valores de sus componentes $L=39,17\pm0,78$; $a=$

5,65±0,56; b= 28,95±0,95 para la tonalidad marròn; L= 51,19±0,49, a= 11,20±0,51; b=30,24±0,85 para la tonalidad verde claro y L= 8,35±0,26; a=- 3,75±0,06; b=3,98±0,38 para la tonalidad verde oscuro; explicándose así el oscurecimiento de la pasta. Gómez et al. (2019) estudiaron el efecto de la adición de harían de kiwicha en pastas, concluyendo que pastas con mayores porcentajes de harina de trigo y concentración de harina de kiwicha reducida dan como resultado una pasta con mejor color (mayor color amarillo) así como mejor firmeza y masticabilidad. Resultados similares fueron obtenidos por Cárdenas (2012) donde la adición de harina de Kiwicha en pastas provocó un descenso de la luminosidad y desplazamiento del componente “a” hacia las tonalidades rojizas significativamente, debido a que por efecto de la temperatura se provoca la reacción de Maillard oscureciendo ligeramente la pasta.

Tiempo de cocción

Para el tiempo de cocción de tomaron 10 g de cada muestra y se colocó cada una en 140 mL de agua, sometiéndola a ebullición hasta notar que desaparece el eje central.

Según el ANOVA para el tiempo de cocción del producto crudo, este no fue estadísticamente significativo ($p = 0.19$), variando de entre 8 y 11 min. El modelo que presenta mejor ajuste es el cúbico especial con un R^2 de 0.63 (Anexo 5). Según el análisis el modelo queda expresado como:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de cocción} = & 8.03*(\%HT) + 9.08*(\%HKG) + 8.03*(\%HC) + 2.65*(\%HT) \\ & (\%HKG) + 0.37*(\%HT)*(\%HC) + 2.23*(\%HKG)(\%HC) + 51.04*(\%HT)(\%HKG) \\ & (\%HC) \end{aligned}$$

Las ilustraciones 37 y 38 muestran que a mayor sustitución de la harina de trigo mayor es el tiempo de cocción y alcanza un punto máximo cuando la sustitución

de HKG es 8% y harina de cushuro es de 13%, es decir la formulación K9.

En esta investigación el tiempo de cocción del control (100% harina de trigo) fue de 6 min, teniendo todas las formulaciones un tiempo de cocción mayor a este valor. Estos tiempos de cocción obtenidos difieren con lo reportado con otros autores. Por ejemplo Cárdenas (2012) obtuvo tiempos de cocción que variaron de entre 7,1 a 9,5 minutos mientras que para la muestra control fue de 13 min. Estas observaciones se atribuyen a que la sustitución con harina de kiwicha interrumpe la red de gluten, debilitándola haciendo que se absorba más rápidamente el agua. De igual manera, Cárdenas et al (2016) reportó valores inferiores del tiempo de cocción para pastas con sustitución parcial con harina de semillas de kiwicha y harina de hojas de la misma, comparadas con una muestra control (84,90% sémola y 15,10% huevo), donde tanto las harinas individuales y sus interacciones tuvieron un efecto significativo sobre el tiempo de cocción. En contraste, Vedia et al. (2016) reportó tiempos de cocción superiores a su muestra control ($13,33 \pm 1,51$ min) en pastas con sustitución parcial de harina de kiwicha cruda, variando de $15,67 \pm 0,57$ a $20,00 \pm 1,00$ minutos. Granito y Ascanio (2009) sugieren que al aumentar el contenido de fibra el tiempo de cocción se ve incrementado debido a la competencia entre la fibra y el almidón por el agua. Al igual que en la pasta con HQG, en estas formulaciones se incrementó el contenido de fibra por parte de la HKG ($23,06 \pm 0,67$ % de fibra dietética total) y la harina de cushuro ($19,77 \pm 0,57$ % de fibra dietética total).

Aumento de peso

El aumento de peso del producto se determinó pesando cada pasta antes y después de la cocción de 10 g de muestra. Según el ANOVA para el aumento de peso del producto cocido, este fue estadísticamente significativo ($p = 0.0182$), variando de entre 199,74% y 245,73%. El modelo que presenta mejor ajuste es el cuadrático especial con un R^2 de 0.93 (Anexo 5). Según el análisis el modelo queda expresado como:

$$\begin{aligned} \text{Aumento de peso} = & 244.07*(\%HT) + 214.20*(\%HKG) + 206.85*(\%HC) - \\ & 120.23*(\%HT)(\%HKG) - 72.58*(\%HT)(\%HC) + 1562.54*(\%HT)(\%HKG)^2(\%HC) \end{aligned}$$

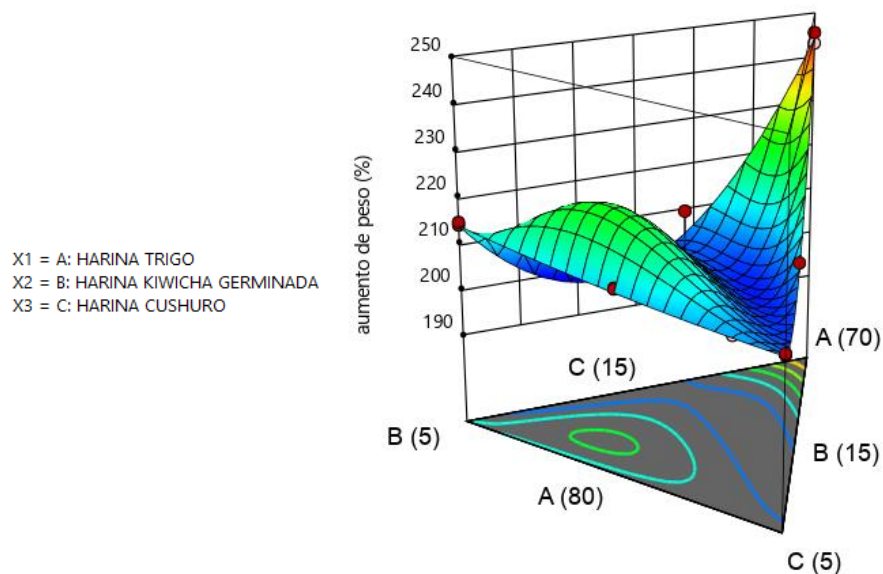


Ilustración 34: Gráfico de superficie de respuesta para el aumento de peso de la pasta con HKG

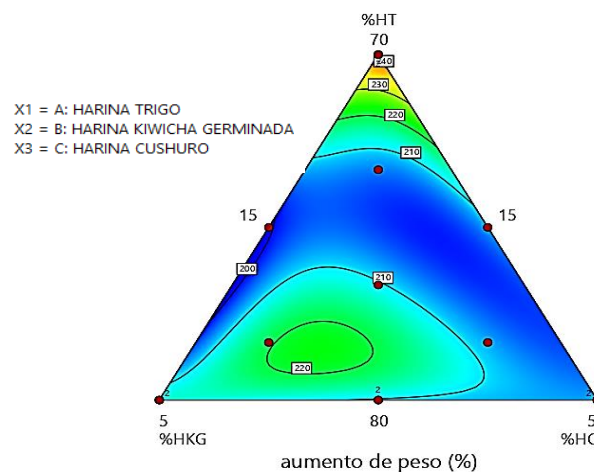


Ilustración 35: Gráfico de contornos para el aumento de peso de la pasta con HKG

El aumento de peso de la pasta se relaciona con la capacidad de absorción de masa. Es un parámetro de calidad de gran importancia ya que no solo es de interés de los consumidores, sino que también refleja el contenido y calidad de la proteína y puede llegar a reflejar el rendimiento de la pasta (Vedia et al., 2016).

Las muestras presentaron un aumento de peso después de la cocción mayor en referencia al control, el cual fue de 114,75%. Estos valores difieren con lo reportado en otras investigaciones. Cárdenas (2012) obtuvo un menor porcentaje de aumento de peso en los tratamientos de las pastas con sustitución de la sémola de trigo por harina de semillas y hojas de kiwicha, sustentando que la competencia por el agua entre el almidón y la fibra producen un hinchamiento limitado. Asimismo, Vedia (2014) obtuvo porcentajes de aumento de peso no significativos en relación a su muestra control en sus pastas con sustitución de sémola de trigo por harina de kiwicha, cuyos valores variaron entre 66,08% (control) y 58,2% (70:30 sémola de trigo: harina integral de kiwicha). Sin embargo, en el estudio de Granito, Pérez y Valero (2014) en pastas con sustitución de sémola de trigo por harina de leguminosas, se observó que al incluir insumos con fibra a las formulaciones de las pastas, se produce una disrupción en la red de gluten, lo que facilita la penetración del agua al centro de la pasta. De igual forma, Xing et al. (2022) reportó un aumento de peso de hasta 220% en pastas con sustitución del 10% con HQG, siendo estos valores similares a los obtenidos en la presente investigación.

Pérdida de sólidos

La pérdida de sólidos se determinó tomando 25 mL de agua de cocción y secándolo en una estufa POL-EKO-APARATURA SP.J. para luego comparar el peso antes y después del secado. Según el ANOVA para la pérdida de sólidos del producto cocido, este no fue estadísticamente significativo ($p = 0.0654$), variando de entre 1,02% y 1,39%. El modelo que presenta mejor ajuste es el lineal con un R^2 de 0.71 (Anexo 5). Según el análisis el modelo queda expresado como:

$$\text{Pérdida de sólidos} = 1.38*(\%HT) + 1.22*(\%HKG) + 1.08*(\%HC)$$

La pérdida de sólidos varió entre 1,02% y 1,39%, valores superiores a los de la muestra control (100% HT, 0.47%) aunque aceptables, ya que el límite de pérdida de sólidos máximo se estableció en un 10% según Xing et al. (2020). En general al incluir subproductos ricos en fibra a las masas de la pasta esta produce un aumento de sólidos y aumento de absorción de agua (Carpentiere et al., 2022). Una pasta de buena calidad no se deforma ni libera gran cantidad de materia orgánica y nutriente hacia el agua durante la cocción, presenta gran capacidad de absorción llegando hasta triplicar su volumen; asimismo a medida que se incrementa el contenido de proteínas a la pasta, ésta presenta mayor resistencia a la sobrecocción, ya que se forma una red más cerrada en la masa que no permite la salida de los sólidos al agua de cocción (Larrosa, 2014). Sin embargo, los resultados muestran que al incluir insumos no convencionales en las pastas de HT, como son la HKG y HC, se incrementa las pérdidas por cocción, aunque no de manera significativa, esto podría deberse que se inhibe la formación de una red de gluten capaz de retener el almidón gelatinizado durante la cocción, de tal manera que se produce un arrastre y solubilización de éste hacia el agua de cocción (Cardenas. 2012).

Firmeza

La firmeza se determinó tomando 50 g de cada formulación, el equipo empleado fue el texturómetro. Según el ANOVA para la firmeza del producto cocido, este no fue estadísticamente significativo ($p = 0.2074$), variando de entre $1,81 \pm 0,12$ N y $2,59 \pm 0,41$ N. El modelo que presenta mejor ajuste es el cuártico especial con un R^2 de 0.78 (Anexo 5). Según el análisis el modelo queda expresado como:

$$\begin{aligned} \text{FIRMEZA} = & 2.57*(\%HT) + 2.42*(\%HKG) + 2.10*(\%HC) - 2.06*(\%HT)(\%HKG) \\ & - 2.38*(\%HT)(\%HC) + 0.57*(\%HKG)(\%HC) + 46.56*(\%HT)^2(\%HKG)(\%HC) \\ & - 23.99*(\%HT)(\%HKG)^2(\%HC) + 17.53 *(\%HT)(\%HKG)(\%HC)^2 \end{aligned}$$

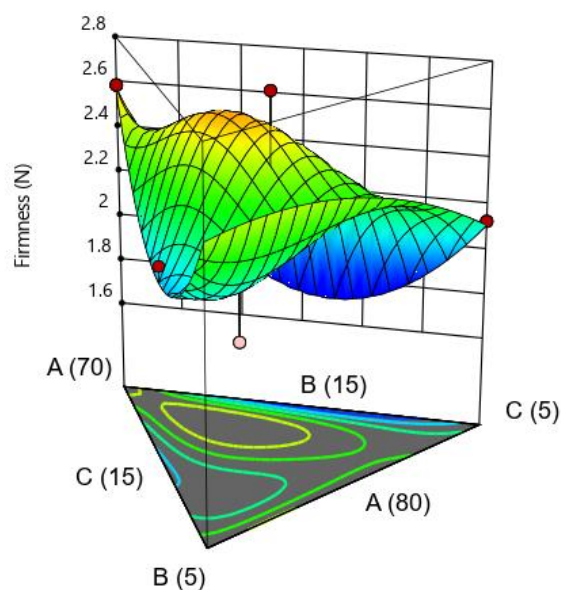


Ilustración 36: Gráfico de superficie de respuesta para firmeza de la pasta con HKG

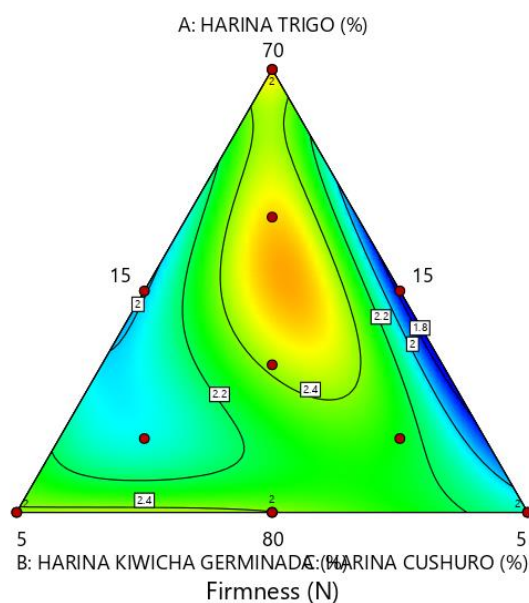


Ilustración 37: Gráfico de contornos para firmeza de la pasta con HKG

Al igual que con las pastas con HQG, a medida que aumenta la sustitución de HKG, las pastas pierden firmeza. Asimismo, Gómez et al. (2019) reportó que las pastas con mayor porcentaje de harina de trigo presentan mayor firmeza, debido a que el gluten que posee, favorece la formación de una estructura más firme, de tal manera que se obtienen pastas con menor residuo de cocción y mejor color

amarillo. Esta última característica no es notable debido al color oscuro que brinda el cushuro en esta investigación. De igual manera se han realizado sustituciones en la masa de las pastas para incrementar su valor nutritivo, por ejemplo, con harina de maíz y frijol (Gonzales, 2018), harina de cascara de maracuyá (Riveros, 2020), entre otros, coincidiendo todos ellos en que la firma disminuye a medida que aumentan las sustituciones.

Fuerza de rotura

De acuerdo al ANOVA de la fuerza de rotura del producto cocido, este es estadísticamente significativo ($p= 0.0013$), variando de entre 2,17 N y 2,73 N. El modelo que presenta mejor ajuste es el cuadrático especial con un R^2 de 0.98 (Anexo 5). Según el análisis el modelo queda expresado como:

$$\begin{aligned} \text{FUERZA DE ROTURA} = & 2.66*(\%HT) + 2.51*(\%HKG) + 2.30*(\%HC) - \\ & 1.01*(\%HT)(\%HKG) - 1.19*(\%HT)(\%HC) + 1.33*(\%HKG)(\%HC) - 13.97*(\%HT)^2 \\ & (\%HKG) HC) - 14.22*(\%HT)(\%HKG)^2(\%HC) + 25.62*(\%HT)(\%HKG)(\%HC)^2 \end{aligned}$$

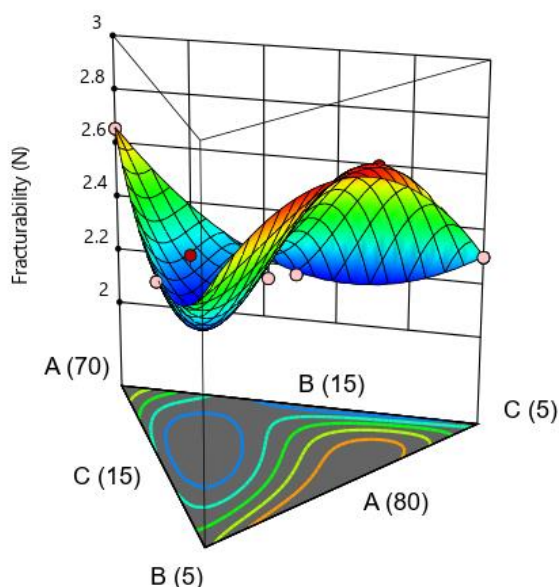


Ilustración 38: Gráfico de superficie de respuesta para fuerza de rotura de la pasta con HKG

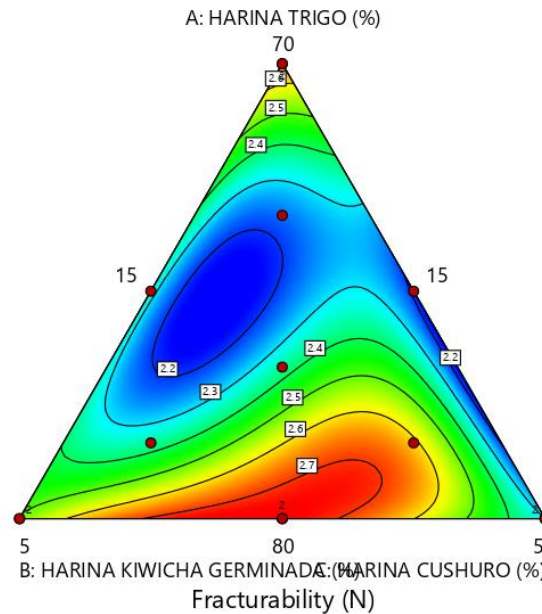


Ilustración 39: Gráfico de contornos para fuerza de rotura de la pasta con HKG

De acuerdo a los datos obtenidos, el tratamiento que requiere mayor fuerza de rotura es el K6 (80%HT, 10%HKG, 10%HC) y el que requiere menor fuerza de rotura es el K5 (75%HT, 15%HKG, 10%HC), sin embargo, hay que considerar que existe una variabilidad muy pequeña entre los valores resultantes de todos los tratamientos.

Similares resultados fueron obtenidos por Martínez et al (2009), donde sus pastas elaboradas con sustitución parcial de harina de soja no mostraron diferencias significativas en cuanto a la fuerza de rotura, incluso con un 30% de sustitución, se mostró una disminución de la fuerza de rotura con un 40% de sustitución.

De acuerdo a Gonzales (2010) quién elaboró pastas con sustitución parcial con harina de guapo, las pastas con sustitución son más frágiles debido que al disminuir la cantidad de proteínas, como las gliadina y glutenina, se obtiene una red menos estructurada que le da menos resistencia cuando esta cruda, obtuvo para estas pastas una 1,46 Kgf.

Análisis de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fítico de la pasta formulada con sustitución de HKG y harina de cushuro

Para las 14 muestras de pasta se evaluó el TPC (expresado en mg GAE/100 g ps), el contenido de GABA (en mg/100 g ps) y la capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) (en μ moles TE/ g ps). En la Tabla 14, se muestra los resultados obtenidos de cada parámetro analizado en cada una de las formulaciones de pasta.

Tabla 18: Análisis de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fítico de las pastas para diferentes formulaciones.

N°	Formulaciones			Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante			ácido fítico (g/100 g ps)
	X1: HT (%)	X2: HKG (%)	X3: HC (%)	GABA (mg /100 g ps)	TPC (mg GAE /100g)	ORAC (μ mol TE/ g ps)	
K1	70	15	15	37,87 $\pm$ 0,65	227,06 $\pm$ 11,53	29,785 $\pm$ 2,87	0,06 $\pm$ 0,01
K2	80	5	15	4,11 $\pm$ 1,59	191,88 $\pm$ 14,11	21,423 $\pm$ 2,48	0,04 $\pm$ 0,00
K3	80	15	5	44,59 $\pm$ 2,42	174,56 $\pm$ 9,22	36,466 $\pm$ 0,78	0,06 $\pm$ 0,01
K4	75	10	15	36,43 $\pm$ 1,74	202,89 $\pm$ 10,10	25,481 $\pm$ 1,61	0,07 $\pm$ 0,01
K5	75	15	10	46,46 $\pm$ 1,05	196,38 $\pm$ 10,60	31,788 $\pm$ 1,36	0,09 $\pm$ 0,01
K6	80	10	10	30,45 $\pm$ 2,58	165,74 $\pm$ 8,25	26,472 $\pm$ 1,54	0,09 $\pm$ 0,02
K7	77	12	12	33,14 $\pm$ 0,32	175,01 $\pm$ 7,93	24,581 $\pm$ 1,74	0,08 $\pm$ 0,01
K8	74	13	13	34,97 $\pm$ 0,41	170,7 $\pm$ 8,35	27,245 $\pm$ 1,15	0,05 $\pm$ 0,01
K9	79	8	13	30,92 $\pm$ 2,34	143,12 $\pm$ 11,42	21,829 $\pm$ 2,19	0,05 $\pm$ 0,01
K10	79	13	8	38,8 $\pm$ 1,84	147,54 $\pm$ 12,42	24,266 $\pm$ 2,09	0,09 $\pm$ 0,01
K11	80	15	5	44,59 $\pm$ 2,42	174,56 $\pm$ 9,22	36,466 $\pm$ 0,78	0,06 $\pm$ 0,01

K12	80	10	10	30,45±2,58	165,74±8,25	26,472±1,54	0,09±0,02
K13	70	15	15	37,87±0,65	227,06±11,53	29,785±2,87	0,06±0,01
K14	80	5	15	4,11±1,59	191,88±14,11	21,423±2,48	0,04±0,00
Blanco	100	-	-	14,75±0,44	121,03±6,12	15,46±1,41	0,02±0,00

Media ± desviación estándar de 6 repeticiones

Contenido de GABA

El ANOVA (Anexo 6) indicó que de los modelos estadísticos el seleccionado es el modelo cuadrático especial por presentar $p < 0.0001$ y R^2 de 0.999 con un nivel de confianza del 95%. La siguiente ecuación que describe el GABA en función de la composición de la harina:

$$\begin{aligned} \text{GABA} = & 37.91*(\%HT) + 4.15*(\%HKG) + 44.63*(\%HC) + 62.26*(\%HT)(\%HKG) \\ & + 21.412*(\%HT)(\%HC) + 24.57*(\%HKG)(\%HC) - 772.47*(\%HT)^2(\%HKG)(\%HC) \\ & + 584.84*(\%HT)(\%HKG)^2(\%HC) - 382.48*(\%HT)(\%HKG)(\%HC)^2 \end{aligned}$$

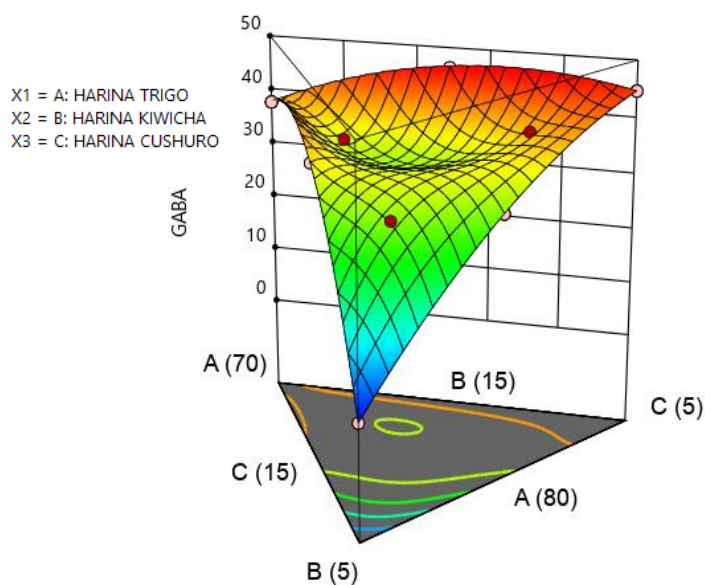


Ilustración 40: gráfico de superficie respuesta para contenido de GABA en pasta con sustitución de HKG

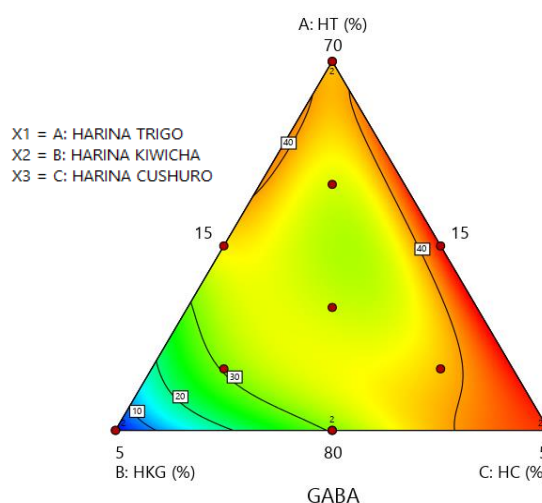


Ilustración 41: gráfico de contornos para contenido de GABA en pastas con sustitución de HKG

El contenido de GABA de las pastas formuladas con sustitución de harina de quinua y cushuro se pueden observar en la tabla 13. El contenido de GABA varia de $4,11 \pm 1,59$ hasta $46,46 \pm 1,05$ mg /100 g ps, alcanzando este pico superior la formulación K5 (75%HT; 10%HQG y 15%HC), seguido de K3 y K11. El ANOVA muestra que la interacción entre los componentes de la pasta es significativa. Como se puede observar el contenido de GABA disminuye a medida que el porcentaje de HKG también disminuye y llega a incrementarse hasta un 314,98% a mayor sustitución de ésta, en relación a la muestra control.

Coello et al. (2021) recalca que el GABA es un aminoácido no proteico que posee múltiples efectos benéficos sobre la salud humana, incluso se ha llegado a demostrar la inhibición de la proliferación de células tumorales, por lo que la inclusión de alimentos con altos contenido de éste es necesario. Estos autores elaboraron pastas con sustitución parcial de polvo de moringa germinada, no detectándose GABA en la muestra control y 0.7 mg/100 g ps en pastas con sustitución de hasta el 30% de moringa germinada. El uso de harina de semillas germinadas en productos alimenticios ha cobrado gran importancia, ya que entre

otros efectos eleva el contenido de GABA, el cual ocupa un lugar especial como sustancia recomendada para la prevención de trastornos neurológicos, por ejemplo se ha empleado en productos de panificación como pan con harina de trigo germinado (Naumenko et al., 2022), pan de molde con harina de quinua y kiwicha germinada (Castillo, 2021) y galletas con harina de kiwicha y cañihua germinada (Simpalo, 2021).

Por su parte, la concentración de la harina de cushuro interacciona significativamente, sin embargo, es el menor contribuyente al contenido de GABA en la pasta ($4,20 \pm 0,14$ mg/100 g ps).

Contenido de fenoles totales

El ANOVA (Anexo 6) indicó que de los modelos estadísticos el seleccionado es el modelo lineal, presentando un valor $p=0.0217$ y R^2 de 0.502 con un nivel de confianza del 95%. La siguiente ecuación que describe el TPC en función de la composición de la harina:

$$\text{TPC} = 215.12*(\%HT) + 174.92*(\%HKG) + 160.65*(HC)$$

El contenido de TPC de las pastas elaboradas con sustitución de HKG se pueden observar en la tabla 13. El contenido de TPC varía de $143,12 \pm 11,42$ a $227,06 \pm 11,53$ mg GAE /100 g ps, perteneciendo este último valor a la formulación K1 (70%HT, 15%HKG y 15%HC) seguido de las formulaciones K4 y K5. Es notable destacar que a medida que el contenido de HKG incrementa, también aumenta el TPC. Asimismo, el contenido de TPC de la muestra control ($121,03 \pm 6,12$ mg GAE /100 g ps) se incrementa hasta un 187,6%.

Se han realizado múltiples investigaciones sobre la adición de diversos componentes a las pastas como lo son subproductos vegetales, incrementado así el contenido de TPC, sin embargo, perjudicando su calidad tecnológica (Carpentieri et al., 2022).

Durazzo et al. (2014) elaboró pastas con 60% de sustitución de harinas de diferentes cereales, obteniendo como resultado un incremento significativo de TPC tanto en las pastas crudas como cocidas. Asimismo, Cárdenas (2012) evaluó el contenido de fenoles totales en pastas con sustitución de harina de semillas y hojas de kiwicha, reportando en su muestra control (100% trigo) $986,82 \pm 11.47 \mu\text{g EAF/g}$ mientras que el tratamiento con 35% de sustitución, hasta $3313 \pm 5,49 \mu\text{g EAF/g}$ y un 26,22% de pérdida de estos compuestos por cocción.

Actividad antioxidante (ORAC)

El ANOVA (Anexo 6) indicó que de los modelos estadísticos el seleccionado es el modelo cuadrático especial por presentar $p=0.0008$ y R^2 de 0.978 con un nivel de confianza del 95%. La siguiente ecuación que describe el ORAC en función de la composición de la harina:

$$\text{ORAC} = 29.69*(\%HT) + 21.33*(\%HKG) + 36.38*(\%HC) - 10.25*(\%HKG)(\%HC) - 482.142*(\%HT)(\%HKG)(\%HC)^2$$

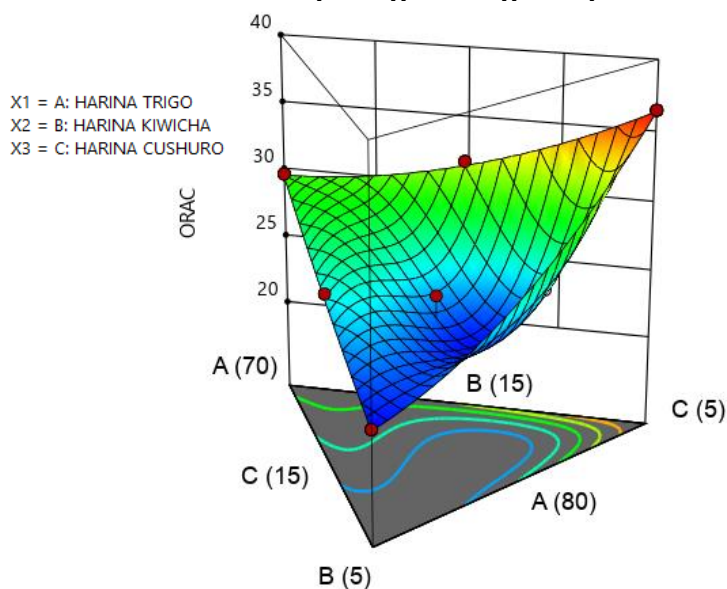


Ilustración 42: Gráfico de superficie respuesta para ORAC de la pasta formulada con HKG

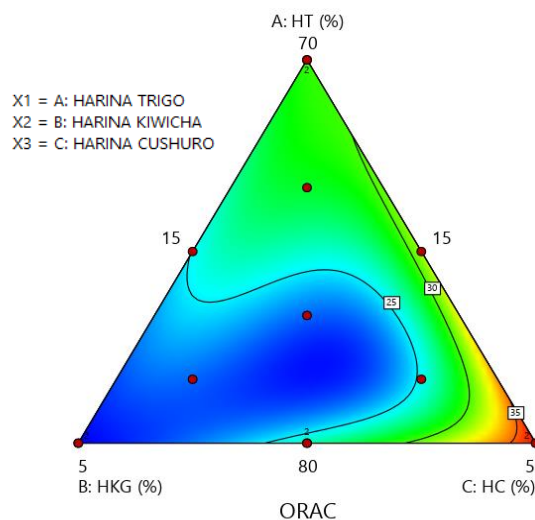


Ilustración 43: Gráfico de contornos para ORAC de la pasta formulada con HKG

Del ANOVA se obtuvo que la interacción entre la HKG y cushuro es significativa, mientras que la interacción de estas individualmente con la harina de trigo, no lo es.

El contenido de ORAC de las pastas formuladas con sustitución de HKG y cushuro se pueden observar en la tabla 13. El contenido de ORAC varía de $21,42 \pm 2,48 \mu\text{mol TE/g ps}$ a $36,47 \pm 0,78 \mu\text{mol TE/g ps}$, perteneciendo este valor máximo a la formulación K3 (80%HT, 15%HQG y 5%HC), seguido de las formulaciones K5 y K1. Se puede notar que, al igual que para el contenido de TPC, a medida que aumenta la concentración de HKG también se incrementa la actividad antioxidante en la pasta. La muestra control (100%HT) que posee $15,46 \pm 1,41 \mu\text{mol TE/g ps}$ se puede observar que se incrementa en 235.9% en comparación con el pico más alto (K3).

Actualmente se buscan diversos métodos para incluir compuestos bioactivos en productos alimentarios, sobre todo el empleo de tecnologías verdes está siendo ampliamente estudiado (Avanza et al., 2019), de tal manera que en la presente investigación se ha demostrado que el empleo de HKG y la harina de cushuro aportan un significativo aumento de la capacidad antioxidante de las pastas.

Los compuestos fenólicos contribuyen a la actividad antioxidante, siendo el ácido ferúlico el ácido fenólico más común entre los cereales, se ha demostrado que *in vivo*, elimina eficazmente los radicales libres y previene el estrés oxidativo implementado durante la toxicidad inducida por el alcohol y los ácidos grasos poliinsaturados (Žilić et al., 2011)

Cárdenas (2014) determinó el contenido de actividad antioxidante ORAC en pastas con harina de semillas y hojas de kiwicha de hasta $130,94 \pm 1,37 \mu\text{mol TE/g}$ psen pastas con 70% de sustitución con harina de semillas de kiwicha, adicionalmente reportó un 54.6% de pérdida de la capacidad antioxidante posterior a la cocción. Rodriguez et al. (2021) obtuvo pastas con sustitución al 100% de la harina de trigo por harina de orujo de uva y kiwicha, reportaron una capacidad antioxidante (medida como la capacidad de atrapar el radical de DPPH) de $3,92 \pm 1,49$ a $6,80 \pm 1,49 \text{ mmeq Trolox/g ps}$, demostrando el aumento de este parámetro en relación a una pasta comercial ($0.76 \pm 0.88 \text{ Mm eq Trolox/g ps}$).

Contenido de ácido fítico

El ANOVA (Anexo 6) indicó que de los modelos estadísticos el seleccionado es el modelo cudrático especial con un R^2 de 0.937, se presentó diferencias significativas entre cada formulación ($p=0.0128$) con un nivel de confianza del 95%. La siguiente ecuación que describe el ácido fítico en función de la composición de la harina:

$$\text{AC. FÍTICO} = 0.06*(\%HT) + 0.04*(\%HKG) + 0.06*(\%HC) + 0.11*(\%HT)(\%HC) + 0.16*(\%HT)(\%HC) - 2.0*(\%HT)^2(\%HKG)(\%HC)$$

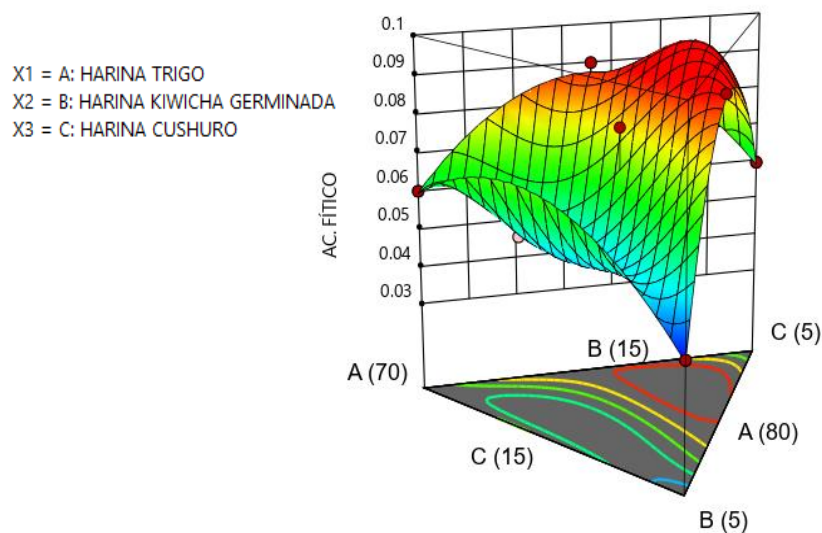


Ilustración 44: gráfico de superficie respuesta para contenido de ácido fólico en pasta con sustitución de HKG

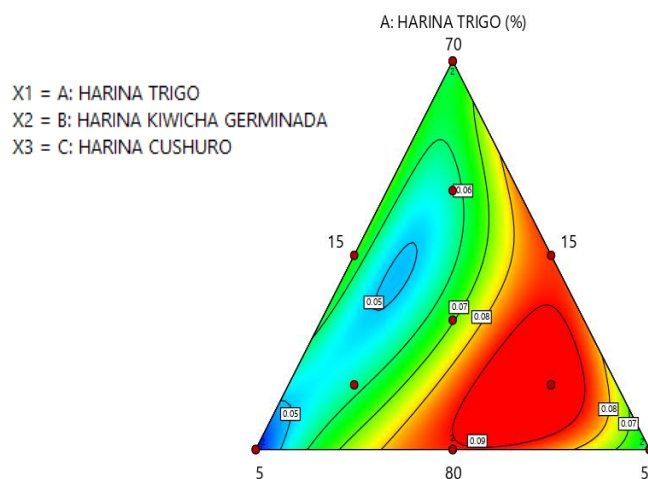


Ilustración 45: Gráfico de contornos para contenido de ácido fólico en pastas con sustitución de HKG

El contenido de ácido fólico de las pastas formuladas con sustitución de HKG y cushuro se pueden observar en la tabla 13. El contenido de ácido fólico varía de $0,04 \pm 0,00$ a $0,09 \pm 0,01$ g/100 g ps, siendo el valor inferior el correspondiente a la formulación K2 (80%HT, 5%HKG y 15%HC). La muestra control presentó $0,02 \pm 0,00$ g/100g de ácido fólico mientras que todos los niveles de sustitución incrementaron este valor, principalmente por la adición de HKG y en menor

medida por la harina de cushuro. Sin embargo, solo en un tratamiento (K5) se alcanzó un incremento significativo. Uno de los objetivos de los tratamientos tecnológicos ensayados es la reducción del ácido fítico, grupo de inositoles fosfatos de 6 grupos fosfato en su estructura, ya que son los principales responsables de la disminución de la disponibilidad de compuestos nutricionales (Albarracin, 2014), por su capacidad de formar complejos con minerales esenciales como Cu, Zn, Fe, K, Mg y Ca (Elizalde et al., 2007). En contraste, las concentraciones bajas de ácido fítico resultan beneficiosas para la salud, ya que se ha comprobado su protección ante el cáncer, enfermedades cardiovasculares y formación de cálculos renales (Rodríguez, 2020), por lo que los resultados obtenidos se configuran ideales con respecto a este compuesto.

Optimización conjunta de las variables de respuesta

Teniendo los modelos ajustados para cada respuesta (color instrumental, % aumento de peso, % pérdida de sólidos, tiempo de cocción, textura-firmeza y textura-fuerza de rotura, TPC, GABA, ORAC, y ácido fítico), se procedió a realizar el método de optimización conjunta. Para establecer esta función se necesita tener un conocimiento previo de los rangos de valores deseables o del objetivo de la variable (maximizar o minimizar).

Para las variables respuesta color instrumental, % aumento de peso, % pérdida de sólidos, textura-firmeza y textura-fuerza de rotura, TPC, GABA y ORAC, lo que se desea es maximizar los valores, mientras que para el tiempo de cocción y el ácido fítico lo que se requiere es minimizar.

Estos criterios fueron establecidos en el software Design Expert 11.1. Este método presenta varias soluciones que se muestran en la siguiente tabla. La mejor solución es aquella que presenta un valor de la función de deseabilidad más cercano a 1.

Tabla 19: Optimización conjunta de la pasta con sustitución de HKG y harina de cushuro

Number	Formulaciones			Parámetros tecnológicos								AC. FITIC O	Análisis de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante			Desirabi lity	
				Color instrumental			Tiempo de cocción	aumento de peso	pérdida de sólidos	Firmez a	Fuerz a de rotura		GABA	TPC	ORAC		
	HT	HKG	HC	L	a	b											
1	70,00	15,00	15,00	62,56	-0,13	12,16	8,028	244,07	1,23	2,57	2,66	0,06	37,91	215,12	29,69	0,63	Selecte d
2	80,00	13,78	6,22	66,27	-0,01	12,97	8,400	207,29	1,10	2,20	2,47	0,07	42,32	162,39	33,44	0,53	
3	80,00	15,00	5,00	66,51	-0,28	12,65	8,033	206,85	1,08	2,10	2,30	0,06	44,63	160,65	36,38	0,50	
4	79,83	8,70	11,47	65,23	0,20	12,60	9,408	213,37	1,15	2,37	2,72	0,08	26,08	170,54	23,89	0,46	
5	80,00	8,56	11,44	65,27	0,19	12,56	9,219	210,61	1,17	2,44	2,74	0,08	24,19	169,84	24,37	0,45	
	76,26	12,70	11,05	64,59	0,15	13,29	10,497	204,74	1,15	2,52	2,40	0,08	33,15	184,33	23,64	0,40	

Como se puede observar la formulación que cumple con los requisitos de optimización es **K1** con 70 % de harina de trigo, 15% de HKG y 15% de harina de cushuro.

4.5. Análisis sensorial de las pastas óptimas:

El análisis sensorial se llevó a cabo con 120 panelistas que evaluaron ambas pastas óptimas cocidas.

Etapla 1: información de los insumos

Ya que el color de las pastas es poco habitual se adoptó la estrategia de brindar una ficha informativa sobre la materia prima empleada, así como también de sus beneficios.



Ilustración 46: Ficha informativa preliminar al análisis sensorial

Etapa 2: información de los insumos

Los resultados de la etapa 2 se muestran en la tabla 15:

Tabla 20. Etapa 2 del análisis sensorial

PASTA	EVALUACIÓN SENSORIAL							
	PASTA CRUDA			PASTA COCIDA				
	COLOR	APARIENCIA GENERAL	INTENCIÓN DE COMPRA	COLOR	OLOR	SABOR	TEXTURA	GUSTO GENERAL
PKC	6.45 ± 0.89	6.23±0.9	3.83±0.83	6.59 ±0.9	6.70± 0.87	7.12±0.87	6.89 ±0.85	7.39± 0.81
PQC	6.98±0.93	6.69±0.93	3.58±0.95	6.05 ±0.96	6.38±0.90	6.43±0.91	6.37 ±0.92	6.57± 0.84

Valores expresados como promedio ± desviaciones estándar.

PKC: pasta con kiwicha germinada y cushuro óptima: PQC: pasta con quinua germinada y cushuro óptima.

La etapa 2 definió la aceptabilidad de las pastas. Se evaluaron las pastas tanto crudas como cocidas. Para el primer caso, se tomó en cuenta color, apariencia general e intención de compra, obteniendo resultados que están entre “Podría comprarlo o no” y “Probablemente lo compraría”. En cuanto al color y apariencia general las puntuaciones estuvieron sobre 6 para ambas pastas, lo que indica que, les gustó ligeramente a los panelistas.

Para las pastas cocidas se evaluaron color, olor, sabor, textura y gusto general. Como se puede observar en la tabla ambas pastas obtuvieron resultados similares según la prueba de Tuckey ($p < 0.05$) en cuanto color, olor, sabor y textura (Software XLSTAT 2023.3.0)

En el caso de PQC, todos los atributos obtuvieron puntuaciones por sobre 6 puntos, lo que indica que en general les gustó ligeramente esta pasta. Esto puede deberse al sabor más intenso que tiene la quinua comparada con la kiwicha, en cuanto el color tuvo menos puntaje que la pasta con HKG por lo que a pesar de ser más clara presentó menor uniformidad de color.

Para la PKC, en cuanto a los atributos color, olor, y textura, se obtuvo una puntuación sobre 6, lo que significa que a los panelistas les gustó ligeramente dicha pasta. Las puntuaciones de 7 significan que les gustó tanto el sabor y el gusto general de la pasta. El color verdoso se debió al contenido de cushuro, el cual es poco habitual en este tipo de productos, sin embargo, obtuvo mayor puntaje pudiendo deberse a la información antes brindada al equipo de panelistas sobre las bondades de las materias primas.

Salvador-Reyes et al. (2023) también informó a sus panelistas sobre las materias primas que empleó en la elaboración de sus cereales para desayuno, indica además que la información sobre los beneficios a los consumidores, puede influir sobre su aceptación.

Las pruebas hedónicas sirven para comparar entre dos o más muestras en cuanto la aceptación de sabor, color, textura, entre otros, es uno de los métodos

más antiguos empleados, resulta muy útil cuando se pretende modificar algún un producto o desarrollar unos nuevos (Lázaro, 2019). Sin embargo, no es suficiente para conocer las características específicas que exactamente influyen en las puntuaciones del consumidor por lo que se creyó conveniente recurrir a la metodología CATA como tercera etapa. Según Silva, Pichiuza y Eccoña (2021) el método CATA es más rápido que otros métodos descriptivos sensoriales y necesita menos mano de obra, por lo que es apropiada para estudios con un número amplio de panelistas, incluso se ha aplicado en varios tipos de alimentos como arroz cocido, galletas saladas, cereales para desayuno, jamón, entre otros.

Para la etapa 3 se formó un *focus group* de 10 personas de entre 18 y 25 años de edad para evaluar los descriptores sensoriales o atributos CATA que encuentran en las pastas. Las que fueron:

Tabla 21: atributos CATA

ATRIBUTOS CATA	OLOR	oscuro
		puntos oscuros
		color heterogéneo
		color homogéneo
		color opaco
	COLOR	olor a trigo
		olor a alga
		olor a grano germinado
		olor a vegetal
	SABOR	sabor dulce
		Regusto a vegetales
		sabor a trigo
		sabor a alga
	TEXTURA	textura grumosa
		blando
		pegajoso
	APARIENCIA GENERAL	separación de componentes
		apariencia heterogénea
		innovadora

Posteriormente, se les pidió a los consumidores que evalúen las pastas según los 19 atributos determinados en el *focus group*, de los 19, solo 12 fueron significativos ($p \leq 0.01$) según la Prueba Q de Cochran, la frecuencia en que se usaron los términos CATA también se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 22: Prueba Q de Cochran

Atributos	valores-p	Pasta con HKG y cushuro	Pasta con HQG y cushuro
oscuro	0.001	0.600 (b)	0.333 (a)
puntos oscuros	0.016	0.367 (a)	0.567 (b)
color heterogéneo	0.006	0.325 (a)	0.550 (b)
color homogéneo	0.004	0.600 (b)	0.367 (a)
color opaco	0.088	0.900 (a)	0.833 (a)
olor a trigo	0.051	0.417 (a)	0.575 (a)
olor a alga	0.317	0.850 (a)	0.808 (a)
olor a grano germinado	0.827	0.892 (a)	0.883 (a)
olor a vegetal	0.066	0.383 (a)	0.533 (a)
sabor dulce	0.005	0.575 (b)	0.342 (a)
Regusto a vegetales	0.532	0.842 (a)	0.817 (a)
sabor a trigo	0.439	0.092 (a)	0.117 (a)
sabor a alga	0.414	0.850 (a)	0.817 (a)
textura grumosa	0.002	0.850 (a)	0.942 (b)
blando	0.739	0.942 (a)	0.933 (a)
pegajoso	0.034	0.992 (b)	0.942 (a)
separación de componentes	<0.0001	0.342 (a)	0.667 (b)
apariencia heterogénea	<0.0001	0.292 (a)	0.650 (b)
innovadora	0.134	0.900 (a)	0.950 (a)

En el siguiente mapa sensorial (ilustración 48) pueden observarse los atributos o descriptores sensoriales seleccionados por los panelistas, donde

se puede ver claramente los dos grupos bien marcados, para la pasta con HKG, los atributos significativos que más se marcaron fueron oscuro, color homogéneo, color opaco, textura grumosa y pegajoso. Para las pastas con HQG, los atributos significativos con mayor frecuencia fueron color opaco, textura grumosa y pegajoso.

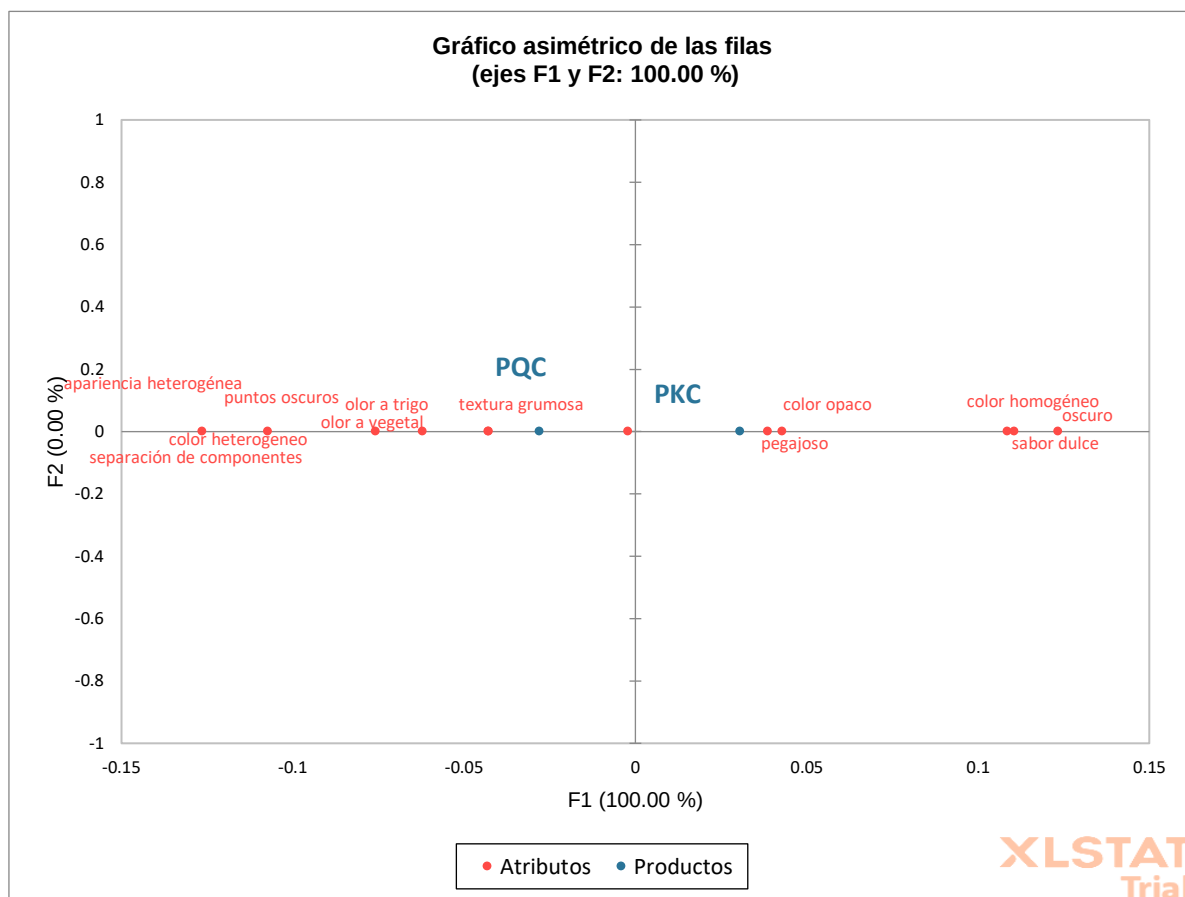


Ilustración 47: Mapa sensorial mediante el análisis de correspondencia

La textura es uno de los atributos más afectados en relación a la calidad sensorial de las pastas. Los resultados son similares a los de Mora et al. (2012), quién desarrolló pastas con sustitución parcial de sémola de trigo por harina de quinua, obtuvo como resultado que las pastas sin inclusión de aditivos estructurantes (CMC y almidón de maíz pregelatinizado) se mostraron insípidas, consistencia pegajosas y poco elásticas, a diferencia de las que sí contienen estos agentes, mostrando características sensoriales

similares a las comerciales. Según Valle (2019) al sustituir la harina de las pastas por otras con menor contenido de gluten se altera principalmente su textura, por lo que se tornan más suaves, por lo que se recomienda el empleo de sustancias que mejoren su estructura como por ejemplo la goma guar. De manera similar López-Mejía y Morales (2020) obtuvieron menor puntaje en los atributos de textura a medida que incrementaba la sustitución de las pastas elaboradas con harinas de arroz, maíz y pulpa de zapallo deshidratado

4.6. Determinación de la vida útil:

4.6.1. Determinación de la vida útil para PKC (pasta con kiwicha germinada y cushuro):

En la siguiente tabla se muestran los datos registrados para los indicadores de pérdida de calidad para la pasta PKC

Tabla 23: Puntaje por tiempo de almacenamiento de la pasta PKC

TIEMPO	INDICADORES		
días	Color sensorial	Olor sensorial	Humedad porcentual
0	7.5	7.3	11.00
7	7.5	7.3	11.40
14	7.4	7.1	11.56
21	7.4	7.1	11.62
28	7.3	7.0	11.84
35	7.3	6.8	11.89
42	7.2	6.6	11.93
49	7.1	6.5	12.13
56	6.9	6.5	12.37
63	6.9	6.4	12.62
70	6.8	6.3	12.79
77	6.8	6.3	12.97
84	6.8	6.2	13.26

Tomando el tiempo de almacenamiento (x) y puntaje de cada indicador (y) se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

Tabla 24: Regresión lineal de los puntajes de los indicadores PKC

REGRESIÓN LINEAL	$y=b_0-b_1x$	COLOR	OLOR	HUMEDAD
	Intercepto	7.561538	7.3231	11.096
	Pendiente	-0.00989	-0.0143	0.0184

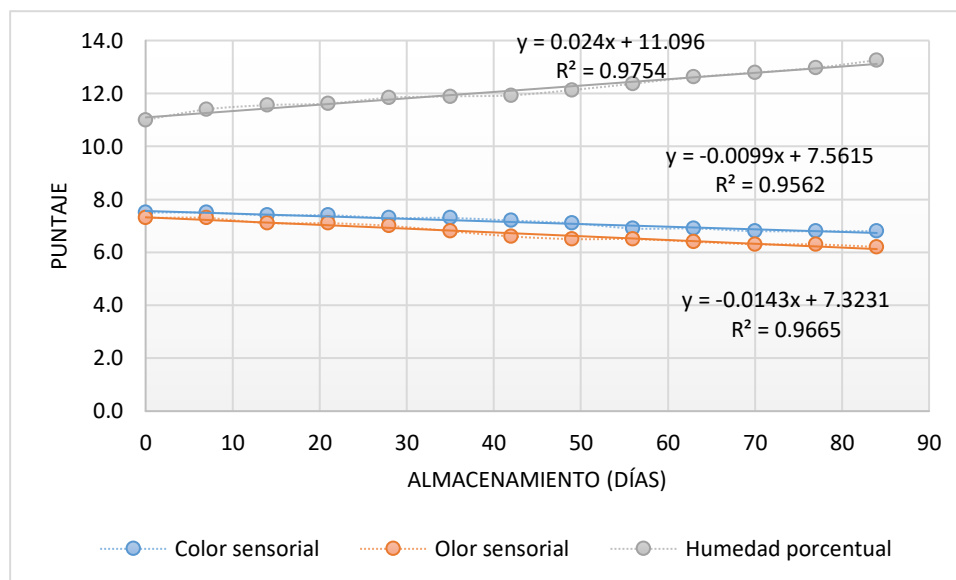


Figura 2: Regresión lineal de los indicadores PKC

Con dichas ecuaciones fue posible obtener el indicador crítico y el tiempo de vida útil:

Tabla 25: tiempo de vida útil e indicador crítico.

indicador	vida útil (meses)
Color sensorial	8.63
Olor sensorial	5.42
Humedad porcentual	5.26

Como se puede ver en la tabla 21, el indicador crítico es la humedad porcentual ya que es el primero en alcanzar su límite crítico, por lo tanto, el tiempo de vida útil que se toma para la pasta PKC es de 5,26 meses.

4.6.2. Determinación de la vida útil para PQC (pasta con quinua germinada y cushuro):

En la siguiente tabla se muestran los datos registrados para los indicadores de pérdida de calidad para la PQC

Tabla 26: Puntaje por tiempo de almacenamiento de la pasta PQC

TIEMPO días	INDICADORES		
	Color sensorial	Olor sensorial	Humedad porcentual
0	7.0	6.9	11.00
7	6.9	6.7	11.26
14	6.9	6.7	11.37
21	6.8	6.5	11.44
28	6.7	6.4	11.56
35	6.7	6.3	11.72
42	6.5	6.2	11.80
49	6.5	6.2	11.97
56	6.4	6.2	12.13
63	6.3	6.1	12.25
70	6.2	6.0	12.48
77	6.2	6.0	12.57
84	6.2	5.9	12.69

Tomando el tiempo de almacenamiento (x) y puntaje de cada indicador (y) se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

Tabla 27: Regresión lineal de los puntajes de los indicadores PQC

REGRESIÓN LINEAL	$y=bo-b1x$	COLOR	OLOR	HUMEDAD
	Intercepto	7.0033	6.7769	11.042
	Pendiente	-0.0105	-0.011	0.0196

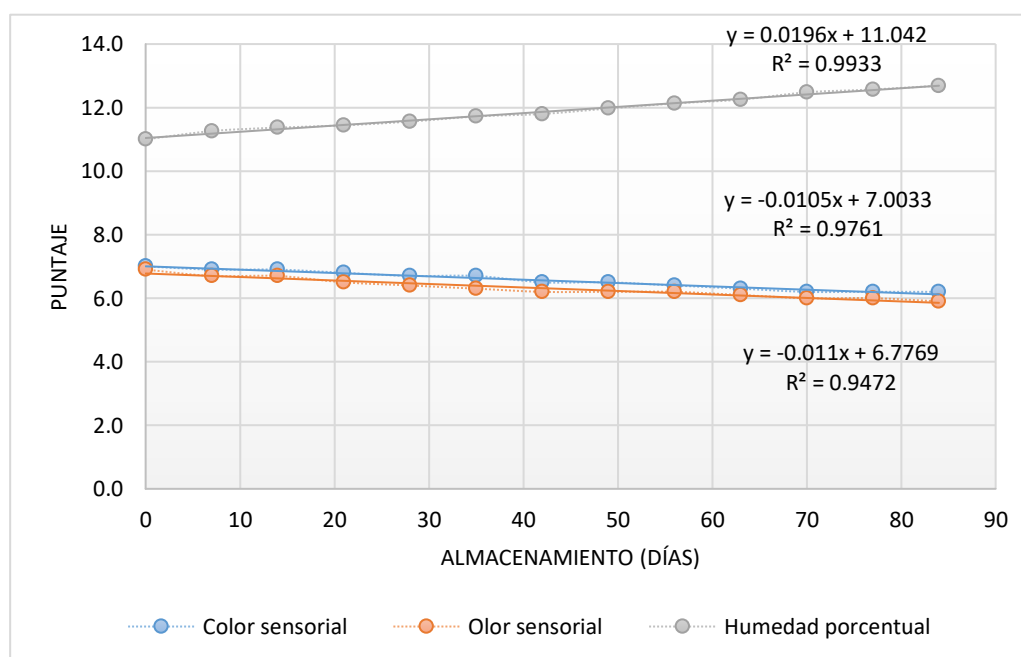


Ilustración 48: Regresión lineal de los indicadores PQC

Con dichas ecuaciones fue posible obtener el indicador crítico y el tiempo de vida útil:

Tabla 28: tiempo de vida útil e indicador crítico.

indicador	vida útil (meses)
Color sensorial	6.36
Olor sensorial	5.38
Humedad porcentual	5.03

Como se puede ver en la tabla 24, el indicador crítico es la humedad porcentual, al igual que para la pasta PKC, ya que es el primero en alcanzar su límite crítico, por lo tanto, el tiempo de vida útil que se toma para la pasta PQC es de 5,03 meses.

Según la NTP 206.010:2016 la humedad porcentual máxima que puede alcanzar una pasta seca es de 14%, este también fue uno de los parámetros tomados por Rosas (2015) indicando además que, un aumento de la humedad produce la retrogradación del almidón lo que causa la dureza durante su cocción, sus pastas elaboradas con harinas de arroz, quinua y kiwicha mostraron una vida útil de hasta 10.9 meses, sin embargo estableció como indicador crítico al porcentaje de acidez titulable como figura también en la norma técnica. Similares resultados obtuvo García (2020), quién reportó un año de vida útil para pastas elaboradas con harina de trigo integral y harina de quinua.

Según Pruna (2020) el tiempo de vida útil estimado a partir de parámetros microbiológicos son menores que solo tomando los fisicoquímicos, como lo son la acidez y humedad; empleando indicadores microbiológicos en pastas con harina de pseudocereales andinos y residuos agroindustriales, determinó como tiempo de vida útil 5,77 y 2,88 meses para sus tratamientos. La incorporación de nuevas materias primas para la elaboración de pastas fortificadas podría ser beneficiosa no solo nutricionalmente, Panza et al. (2023) demostró que pastas frescas elaboradas con residuos agroindustriales, puede incrementar el tiempo de vida útil.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES:

- El rendimiento de las harinas de pseudocereales andinos fue 86% y 84% para las la HKG y HQG respectivamente. Su proceso de germinación permite obtener harina con características nutricionales mejoradas. Hubo un incremento en el contenido de grasas y proteínas, aunque este último disminuyó ligeramente en el caso de la HKG. También se elevó significativamente el contenido de TPC, ORAC y GABA en un 836%, 614% y 266%, respectivamente para la HQG y en un 293%, 267% y 163%, respectivamente, en el caso de la HKG. La harina de cushuro, con un rendimiento de 1,84% debido a su alta humedad, mostró altas concentraciones de hierro ($246,81 \pm 6,70$ mg/kg ps) y calcio ($21616,93 \pm 648,64$ mg/kg ps), respectivamente.
- Se obtuvieron modelos matemáticos que describen las características tecnológicas y funcionales para ambos tipos de pastas con una significancia $p < 0,05$ y R^2 altos. El tiempo de cocción, % aumento de peso y % pérdida de sólidos aumentaron en relación a la muestra control, mientras que para la fuerza de rotura y firmeza no hubo diferencia significativa entre tratamientos y el control. Los componentes bioactivos también se incrementaron hasta incluso triplicar su valor, como es el caso del GABA para la pasta PKC.
- La formulación óptima de la pasta PKC fue el tratamiento K1 con 70 % de harina de trigo, 15% de HKG y 15% de harina de cushuro. Mientras que para la pasta PQC el tratamiento óptimo fue la formulación Q3 con 80% de harina de trigo, 15% de HQG y 5% de harina de cushuro.
- Se evaluaron los atributos sensoriales, para ambas pastas se obtuvo una intención de compra de entre “Podría comprarlo o no” y “Probablemente lo compraría”. La pasta PKC fue la que obtuvo mejor puntaje en cuanto sabor y gusto general que la pasta PQC. Los descriptores sensoriales o CATA de las pastas estuvieron relacionadas

con la textura pegajosa y color oscuro.

- La vida útil de las pastas óptimas evaluadas a temperatura ambiente fue de 5.26 meses para la pasta PKC y de 5.03 meses para la pasta PQC, teniendo a la humedad porcentual como indicador crítico.

5.2. RECOMENDACIONES:

- Es necesario mejorar la textura de la pasta para lograr mejor aceptabilidad, para lo cual es recomendable que se adicione agentes estructurantes que mejoren dicho atributo sensorial.
- Se recomienda realizar estudios de empaques idóneos para incrementar la vida útil de las pastas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abderrahim, F.; Huanatico E.; Repo-Carrasco-Valencia R.; Arribas, S.M.; González, M.C; Condezo-Hoyos, L. (2012). *Effect of germination on total phenolic compounds, total antioxidant capacity, Maillard reaction products and oxidative stress markers in canihua (Chenopodium pallidicaule)*. Journal of Cereal Science 56(2): 410-417
- Afrin, S., Husna, A., Karmoker, P., Hossain, A., Jubayer, F., Akhter, D. y Rahman, A. (2022). *Effects of sprouting of soybean on the anti-nutritional, nutritional, textural and sensory quality of tofu*. Heliyon. Volumen 8.
- Aguilar, E. y Romero, M. (2018). *Actividad antioxidante del germinado de la semilla de cuatro variedades de Amaranthus caudatus L. "Kiwicha"*. Farmacia y Bioquímica. Rev. Inv. UNSCH.
- Albarracin, M. (2014). *Desarrollo y evaluación nutricional de alimentos elaborados a base de granos enteros de arroz. Efectos de los procesos de remojo, germinación y extrusión sobre el contenido y disponibilidad de nutrientes*. Universidad Nacional del Litoral.
- Alegre, R., Ojeda, M. y Acuña, A. (2020). *Análisis proximal y contenido de hierro y calcio de Nostoc sphaericum "cushuro" deshidratado procedente de la laguna de Conococha, Catac – Huaraz*. Universidad César Vallejo. UCV Scientia volumen 12 Nº 2. Perú.
- Alvarado S. y Rodriguez, B. (2017). *Efecto del consumo de hierro contenido en la murmunta (Nostoc sphaericum) en la recuperación de ratas con anemia inducida, Arequipa, 2017*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú.
- Anh, P., Menghan, T., Tran-Nguyen, S., Seokhoon, N., Belay, P., T. Ayele (2019). *Molecular mechanisms of seed germination*. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128115251000014>
- Aparicio-García, N., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J. y Peñas, E. (2020). *Changes in protein profile, bioactive potential and enzymatic activities of gluten-free flours obtained from hulled and dehulled oat varieties as affected by germination condition*.

- LWT-Food Science and Technology. Volumen 134. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820309440>
- Avanza, M., Alvarez, G., Mendiola, J. e Ibañez, E. (2019). *Obtención de Ingredientes Bioactivos Mediante Tecnologías Verdes*. XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Argentina.
- Baah, R., Doudo, K. y Emmambux, M. (2022). Cooking quality, nutritional and antioxidant properties. of gluten-free corn – Orange pulp sweet potato paste produced by extrusion. *LWT - Food Science and Technology*, volumen 162.
- Badshah, A., Zeb, A., Bibi, N., Akbaar, S. y Said, M. (2007). Influence of germination techniques on content of phytic acid and polyphenols in chickpea sprouts (*Cicer arietinum* L.). *Química alimentaria* volumen 104.
- Bejarano, J. y Huamaní, W. (2022). *Efecto hepatoprotector del consumo de Nostoc commune (cushuro) frente al daño inducido por dietas ricas en sacarosa en ratones*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima – Perú.
- Boukid, F., Littardi, P., Carini, E., Diantom, A., Curti, E., Vodovotz, Y. y Vittadini, E. (2022). *Use of discrimination analysis to identify differences during cooking of novel pasta formulations*. Food Structure. Volumen 33.
- Bravo, M., Reyna, J., Gomez, I. y Huapaya, M. (2013). *Estudio químico y nutricional de granos andinos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa*) y Kiwicha (*Amarantus caudatus*)*. Revista Peruana de Ingeniería Quincha. Volumen 16, numero 1.
- Campos, J., Acosta, K. y Paucar, L. (2022). *Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Nutritional composition and bioactive compounds of grain and leaf, and impact of heat treatment and germination*. Scientia Agropecuaria. Volumen 13, numero 3.
- Cárdenas, A. (2012). *Composición química, características de calidad y actividad antioxidante de pasta enriquecida con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada*. Universidad Autónoma de Queretaro. México.

- Cárdenas, A., Beta, T., Loarca, G., Castaño, E., Nieto, J. y Mendoza, S. (2016). *Improved functional properties of pasta: Enrichment with amaranth seed flour and dried amaranth leaves*. Journal of Cereal Science Volumen 72.
- Carpentieri, S., Larrea, D., Donsi, F. y Ferraria, G. (2022). *Functionalization of pastes through the incorporation of compounds bioactives from agri-food by-products: Fundamentals, opportunities and drawbacks*. Trends in food science and technology. Volumen 122.
- Casanave, M. y Ruiz, R. (2022). Evaluación del aporte nutricional de os granos germinados y sin germinar de quinua, kiwicha y cañihua. Universidad Femenina del Sagrado Corazón. Lima, Perú.
- Castillo, W. (2021). *Desarrollo de productos de panificación saludables con alto contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante a partir de harina de quinua (Chenopodium quinoa) y cañihua (Chenopodium pallidicaule) germinados*. Universidad Nacional del Santa. Perú.
- Chamorro, R., Carrasco, R., Ccapa, K. y Quispe, F. (2018). *Composición Química Y Compuestos Bioactivos de Treinta Accesiones de kiwicha (Amaranthus caudatus L.)*. Rev Soc Quím Perú, volumen 84.
- Chávez, L. (2014). Composición química y actividad antioxidante in vitro del extracto acuoso de *Nostoc sphaericum* (cushuro), laguna Cushurococha – Junín. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima – Perú.
- Chili, E. y Terrazas, I. (2010). Evaluación de la cinética de secado y valor nutricional de cushuro (*Nostoc sphaericum*). Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú.
- Choquehuanca, F. (2015). Determinación de mercado para galletas con cañihua germinada y chocolates con quinua expandida, en las ciudades de Arequipa, Cusco y Juliaca (*Tesis de maestria*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Disponible en: <http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/629/EPG234-00212-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Coello, K., Peñas, E., Martínez, C., Cartea, M., Velasco, P. y Frias, J. (2021). *Pasta products enriched with moringa sprout powder as nutritive dense foods with bioactive potential*. Food Chemistry. Volumen 360.
- Corpus, A., Alcantara, M., Celis, H., Echevarria, B., Paredes, J. y Paucar, L. (2021). *Cushuro (Nostoc sphaericum): Hábitat, características fisicoquímicas, composición nutricional, formas de consumo y propiedades medicinales*. Agroindustrial Science, volumen 11 numero 2.
- De la Cruz, R. (2020). Obtención de pasta fortificada con inclusión de harina de Quinoa (*Chenopodium quínoa*) y harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*). Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.
- Ding, J., Feng, H. (2019). *Controlled germination for enhancing the nutritional value of sprouted grains*, Sprouted Grains Nutritional Value, Production and Applications p. 91-112. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128115251000051>
- Dirección Regional de Salud Ancash (2021). *Repositorio de la primera infancia*. Disponible en <https://diresancash.gob.pe/web/dei/>
- Durazzo, A., Turfani, V., Azzini, E., Maiani, G. y Carcea, M. (2014). *Propiedades antioxidantes de pastas integrales experimentales elaboradas con Diferentes Cereales*. Revista de Investigación Alimentaria; vol. 3, núm. 4.
- Dziki, D. y Gawlik-Dziki, U. (2019). Processing of germinated grains. Sprouted Grains Nutritional Value, Production and Applications. AACC International Press.
- Elizalde, A., Porrilla, Y. y Chaparro, D. (2007). *Antinutritional factors in eatable seeds*. Grupo de investigación innovaciones agroindustriales con proyección social, Facultad de ciencias agropecuarias, universidad del Cauca. Volumen 7, número 1.
- Epinoza, Y., Gamarra, N y Tarazona, R. (2018). Sustitución de la harina de trigo por harina de quinoa y puré de espinaca en la elaboración de una pasta enriquecida y fortificada. *Aporte Santiaguino* 11 (1). <http://dx.doi.org/10.32911/as.2018.v11.n1.457>

- Escudero, E. y Gonzales, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición hospitalaria*. Volumen 21.
- Fernandez, W. y Suyón, S. (2018). Efecto del secado convectivo en el valor nutricional, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante in vitro del *Nostoc sphaericum* Vancher ex Bornet & Flahault “cushuro” *procedente de Recuay*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima – Perú.
- Finnie, S., Brovelli, V. y Nelson, D. (2019). *Granos germinados como ingrediente alimentario*. Sprouted Grains Nutritional Value, Production and Applications p. 113-142. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128115251000063>
- Finnie, S., Brovelli, V. y Nelson, D. (2019). *Sprouted grains as a food ingredient*. Research and Development, Bay State Milling Company, United States.
- Galindo, M. (2014). Efecto de la fortificación casera con micronutrientes en polvo, como una estrategia de intervención contra la deficiencia de micronutrientes en población infantil de 12 hasta 59 meses, de cuatro municipios del departamento de Atlántico, pertenecientes a programas de complementación alimentaria. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Medicina, Facultad Salud Pública. Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/43134/1/52269643.2014.pdf>
- Gan, R., Chan, C., Yang, Q., Li, D., Ge, Y., Gunarate, A., Ge, J. y Corke, H., (2019). Bioactive compounds and beneficial functions of sprouted grains. *Sprouted Grains Nutritional Value, Production, and Applications*.
- García, E. (2020). Elaboración de fideo blanco tipo tornillo a partir de una formulación de harina integral de Trigo y Quinoa en Industrias Catedral S.A. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.
- Goetzke, B., Nitzko, S., Spiller, A. (2014). *Consumption of organic and functional food. ¿A matter of well-being and health? Appetite*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.02.012>
- Gomez, A., Huaca, A., Espin, M., Almeida, V. y Castañeda, J. (2019). *Elaboración de pasta alimenticias enriquecidas a partir de harina de amaranto (Amaranthus*

- hypochindriacus*). Re-inventando la investigación en salud y educación para una sociedad transcultural: propuestas de acción. Universidad Almería.
- Gonzales, Y. (2018). *Desarrollo de pastas alimenticias tipo caracol a base de harina de maíz nixtamalizado (Zea mays) y de frijol Honduras Nutritivo (Phaseolus vulgaris)*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.
- Granito, M. y Ascanio, V. (2009). *Desarrollo y transferencia tecnológica de pastas funcionales extendidas con leguminosas*. ALAN volumen 59 número 1. Caracas – Venezuela.
- Granito, M., Pérez, S. y Valero, Y. (2014). Quality of cooking, acceptability and glycemic index of enriched pasta with legumes. *Rev Chil Nutr Volumen*. 41, N°4.
- Hassan Mekky, R., M. Thabet, M., Rodríguez-Pérez, C., Yousry Elnaggar, D., Mahrous, E., Segura-Carretero, A., Abdel-Sattar, E. (2020). *Comparative metabolite profiling and antioxidant potentials of seeds and sprouts of three Egyptian cultivars of Vicia faba L.* Food Research International. Volumen 136. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996920305627>
- Hernández, M., Blanca Martínez de Morentin Aldabe, Eva Almiron-Roig, Salomé Pérez-Diez, Rodrigo San Cristóbal Blanco, Santiago Navas-Carretero, J. Alfredo Martínez (2018). *Influencia multisensorial sobre la conducta alimentaria: ingesta hedónica*. *Endocrinol Diabetes Nutr*. 2018; 65(2):114-125. España.
- Hernández-Carranza, P. Jiménez-Mugúia, M. T. (2010). *Propiedades funcionales y aplicación industrial de los fructooligosacáridos*. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 4-1; 1-8. Disponible en: [https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No4-Vol-1/TSIA-4\(1\)-HernandezCarranza-et-al-2010.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No4-Vol-1/TSIA-4(1)-HernandezCarranza-et-al-2010.pdf)
- Hinostroza, M. (2020). *Efecto de la germinación de quinua y kiwicha en el contenido de folícos totales, betalainas, vitamina C y actividad antioxidante*. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo – Perú.

- Hinostroza, M. (2020). Efecto de la germinación de quinua y kiwicha en el contenido de fenólicos totales, betalaínas, vitamina C y actividad antioxidante. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2019). Encuesta Demográfica y de Salud Familiar - ENDES. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Endes2019/
- Jantaro, S. y Kanwal, S. (2017). *Chapter 8 - Low-Molecular-Weight Nitrogenous Compounds (GABA and Polyamines) in Blue-Green Algae*. Algal Green Chemistry.
- Jian-Yong Chua, Matthew Kok Ping Koh, Shao-Quan Liu (2019). *Gamma-aminobutyric acid: A bioactive compound in foods*. Sprouted Grains Nutritional Value, Production and Applications p. 25-54. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128115251000026>
- Larrosa, V. (2014). *Efectos de los hidrocoloides en las características fisicoquímicas y reológicas de pastas libres de gluten aptas para individuos celíacos*. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
- Lázaro, P. (2019). Nuevas metodologías de Análisis Sensorial en niños de 8-12 años. Estudio y profundización en la aplicación del método Check-All-That-Apply (CATA). Universitat Politècnica de València. Valencia, España.
- López-Mejía, N. y Morales, N. (2020). Optimización de la formulación de tallarines libres de gluten enriquecidos con pulpa de zapallo deshidratada empleando el método de diseño de mezclas. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.29918>
- Martínez, A., Millan, M., Rodríguez, N., Millan, F. y Monserrat, S. (2020). *Nutraceutical value of Kiwicha (Amaranthus caudatus L.)*. Journal of Functional Foods. Volumen 65.
- Martínez -Navarrete, N., M del Mar Camacho y Martínez, J. (2008). *Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud*. Revista Española de Nutrición Humana y Dietética. Volumen 12, Núm. 2 p. 64-68. España.

- Ministerio de Salud del Perú (2012). Tablas Peruanas de Composición de Alimentos. Lima.
- Mora, A., Restrepo, P., Gutierrez, R. y Hernandez, M. (2012). Análisis bromatológico y sensorial de pastas alimenticias compuestas con inclusión de quinua. *Vitae*, 19(1), S412-S414.[fecha de Consulta 10 de Septiembre de 2021]. ISSN: 0121-4004. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169823914129>
- Mora, A., Restrepo, P., Gutierrez, R. y Hernandez, M. (2012). Análisis bromatológico y sensorial de pastas alimenticias compuestas con inclusión de quinua. *Vitae*, 19 (1).
- Muñoz, K. (2021). Efecto de la temperatura y tiempo en la deshidratación del cushuro (*Nostoc commune*) mediante bandejas en las propiedades fisicoquímicas. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica-Perú.
- Naumenko, N., Potoroko, I. y Kalinina, I. (2022). Stimulation of antioxidant activity and γ -aminobutyric acid synthesis in germinated wheat grain *Triticum aestivum* L. by ultrasound: Increasing the nutritional value of the product. *Ultrasonics Sonochemistry*, volumen 86.
- Nemzer, B., Lin, Y. y Huang D. (2019). *Antioxidants in sprouts of grains*. Granos Germinados Valor Nutricional, Producción y Aplicaciones. AACC International Press.
- Nemzer, B., Lin, Y. y Huang, D. (2019). *Antioxidants in sprouts of grains*. Sprouted Grains Nutritional Value, Production, and Applications.
- Neyra Onque, Flor Angela (2015). *Calidad nutricional y aceptabilidad de un producto extruido a base de nostoc (Nostoc commune) Puno – Perú, diciembre 2013 - marzo 2014*. Perú. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11937>
- NTP 205.064 (2015). *TRIGO. Harina de trigo para consumo humano. Requisitos*. Segunda edición.
- NTP 206.010 (2016). *Pastas o fideos para consumo humano. Requisitos*. Segunda edición.
- Ñahuero, M. (2018). *Caracterización fisicoquímica de la malta de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en dos variedades a condiciones de laboratorio*. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica-Perú.

- Olano, J. (2018). *Elaboración de fideos con sustitución parcial de harina de trigo por pasta de mashua (Tropaeolum tuberosum) y extracto de zanahoria (Daucus carota l)*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú.
- Pandey, A., Kumar, S., Singh, G. y Mohan, S. (2022). *Regulatory role of gamma-aminobutyric acid in cyanobacteria challenged with UV-B: The implication of nitric oxide*. Plant Stress. Volumen 5.
- Pantoja, L. y Prieto, G. (2014). *Evaluación tecnológica y sensorial de pastas alimenticias enriquecidas con harina de quinua (Chenopodium quinoa willd.) y Tarwi (Lupinus mutabilis sweet)*. Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote-Perú.
- Panza, O., Lacivita, V., Tarantino, F., Manzi, A., Conte, A. y Del Nobile, M. (2023). Fruit and vegetable by-products as source of bioactive compounds to preserve handmade fresh pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 129. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115584>
- Pasko P., Zagrodzki, P., Foyta, M., Gorinstein, S. y Zachwieja, Z. (2009). *Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth*. Food Chemistry Volume 115.
- Paucar-Menacho, L.; Martínez Villaluenga, C.; Dueñas M.; Frias, J.; Peñas, E. (2018). *Response surface optimization of germination conditions to improve the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity in quinoa*. International Journal of Food Science & Technology 53(2): 516-524
- Paucar, L., Simpalo, W., Castillo, W., Esquivel, L. y Martinez, C. (2022). *Improving Nutricional and Health Benefits of Biscuits by Optimizing Formulations Base on Sprouted Pseudocereal Grains*. Foods. Volumen 11.
- Paucar, L., Simpalo, W., Castillo, W., Esquivel, L. y Martinez, C. (2022). *Reformulating Bread Using Sprouted Pseudo-cereal Grains to Enhance Its Nutritional Value and Sensorial Attributes*. Foods volumen 11.
- Paucar-Menacho, L.; Peñas, E.; Dueñas, M.; Frias, J.; Martínez-Villaluenga, C. (2017). *Optimizing germination conditions to enhance the accumulation of bioactive*

- compounds and the antioxidant activity of kiwicha (Amaranthus caudatus) using response surface methodology*. LWT-Food Science and Technology 76B: 245242
- Pilco, S., Tian, Y., Yang, B., Carrasco, R. y Pekka, J. (2020). *Effects of germination and kilning on the phenolic compounds and nutritional properties of quinoa (Chenopodium quinoa) and Kiwicha (Amaranthus caudatus)*. Journal of Cereal Science. Volumen 94.
- Pinares, C. (2019). Formulación de pasta alimenticia (tallarín de casa) con sustitución parcial de tarwi (*Lupinus mutabilis sweet*) y Adición de cáscara de huevo en polvo. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Abancay, Perú.
- Pruna, D. (2020). Determinación de los compuestos bioactivos y tiempo de vida útil de un spaghetti elaborado a partir de cultivos andinos y residuos agroindustriales. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.
- Quayson, E., Atwell, W., Morrisb, F., Martí, A. (2016). *Empirical rheology and pasting properties of soft-textured durum wheat (Triticum turgidum ssp. durum) and hard-textured common wheat (T. aestivum)*. Journal of Cereal Science. Volume 69.
- Quintana, J. (2020). *Elaboración y caracterización fisicoquímica de pan con sustitución parcial de harina de trigo por harina de quinua (Chenopodium quinoa willd) y Kiwicha (Amaranthus caudatus L.) germinadas*. Universidad Nacional José María Arguedas. Apurimac-Perú.
- Riveros, Y. (2020). *Efecto de la sustitución parcial de Harina de Trigo (Triticum durum) por Harina de Kiwicha (Amaranthus caudatus) y Harina de Cáscara de Maracuyá (Passiflora edulis) en las Características Sensoriales y Calidad Culinaria de fideos tipo fettuccine*. Universidad César Vallejo. Trujillo, Perú.
- Rodriguez, A., Feregrino, A., Juarez, M., García, J., Mancillas, J., Ávila, M., Leyva, A. y Ramirez, F. (2021). *Evaluación proximal y contenido de antioxidantes de una pasta tipo espagueti a partir de orujo de uva y amaranto*. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, volumen 29 numero 82.
- Rodriguez, D. (2020). *Compuestos bioactivos de la soja: antinutrientes y reguladores*. Universidad de Valladolid.

- Roldan W. (2015). *Caracterización y cuantificación del comportamiento reológico del hidrocoloide proveniente del nostoc (Nostocsphaericum v.)*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú
- Rosas, A. (2015). Formulación, elaboración y vida útil de una pasta seca alimenticia de harina de arroz *Oryza sativa*, enriquecida con harinas de quinua *Chenopodium quinoa* y kiwicha *Amaranthus caudatus*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Labayeque, Perú.
- Salvador-Reyes, R. (2023). Exploring the perception and sensory acceptance of a Peruvian purple maize breakfast cereal by Brazilian consumers. *Scientia Agropecuaria* 14(1): 7-19. [Scientia Agropecuaria \(unitru.edu.pe\)](https://doi.org/10.29019/scientiaagropecuaria.730).
- Schendel, R. (2019). *Phenol content in sprouted grains*. Department of Animal and Food Sciences, University of Kentucky, Lexington, KY, United States.
- Schoenlechner, R. (2017). Quinoa: Its Unique Nutritional and Health – Promoting Attributes. University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria.
- Silva, R., Pichiuza, G. y Eccoña, A. (2021). Comparación de métodos sensoriales descriptivos: perfil flash y preguntas CATA para caracterizar infusiones de muña (*Minthostachys mollis*). *Enfoque UTE*, 12 (3). <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.730>
- Simpalo, W. (2021). Desarrollo de productos de panificación saludables con alto contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante a partir de harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) germinados. Universidad Nacional del Santa. Perú.
- Sosa, C. (2021). *Calidad Nutricional y la aceptabilidad del producto obtenido por deshidratación osmótica del Nostoc sphaericum (cushuro)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú.
- Valle, O. (2019). Desarrollo de una pasta corta a partir de frijol biofortificado Honduras Nutritivo (*Phaseolus vulgaris L.*) y arroz (*Oryza sativa*). Escuela Agrícola Panamericana. Honduras.

- Vedia, V. (2014). *Efecto de la sustitución parcial de semolina de trigo (Triticum durum) por harina de amaranto (Amaranthus hypochondriacus) en las características fisicoquímicas y sensoriales de tallarines*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.
- Vedia, V., Gurak, P., Espinoza, S. y Ruano, J. (2016). Calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial de tallarines producidos con sustitución parcial de sémola de trigo por harina de amaranto. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*. Volumen 20, numero 3.
- Xing, B., Zhang, Z., Teng, C., Zou, L., Liu, R., Zhang, L., Yang, X., Ren, G. y Qin, P. (2022). The gluten structure, starch digestibility and quality properties of pasta supplemented with native or germinated quinoa flour. *Food Chemistry*. Volumen 399.
- Yan Ma, Wang, P., Wang, M., Sun, M., Gu, Z. y Yang, R. (2019). *GABA mediates phenolic compounds accumulation and the antioxidant system enhancement in germinated hulless barley under NaCl stress*. *Food Chemistry*, Volumen 270.
- Yang, B., Yin, Y., Liu, C., Zhao, Z. y Guo, M. (2021). Effect of germination time on the compositional, functional and antioxidant properties of whole wheat malt and its end-use evaluation in cookie-making. *Food Chemistry*. Volumen 349. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814621001278>
- Yong, J., Ping, M. y Quan, S. (2019). *Gamma-aminobutyric acid: a bioactive compound in foods*. Sprouted Grains Nutritional Value, Production, and Applications.
- Zavaleta, N. y Astete-Robilliard, L. (2017). *Efecto de la anemia en el desarrollo infantil: Consecuencias a largo plazo*. *Rev Peru Med Exp Salud Pública*. 2017; 34(4):716-22. doi: 10.17843/rpmesp.2017.344.3251
- Zhao, S., Ding, J. y Xiong, S. (2019). *Development of gamma-aminobutyric acid enriched germinated rice products*. Granos Germinados Valor Nutricional, Producción y Aplicaciones. AACC International Press.

Žilić, S., Taskovic, V., Dodig, D., Maksimovic, V., Maksimovic, M. y Basic, Z. (2011).
*Antioxidant activity of small grain cereals caused by phenolics and lipid soluble
antioxidants*. Journal of Cereal Science Volumen 54, número 3.

ANEXOS

ANEXO 1

ELABORACIÓN DE HARINA DE KIWICHA GERMINADA



Recepción de Kiwicha variedad Centenario



Lavado y desinfección de la kiwicha



Remojo de la Kiwicha (23°C, 30 min)



Germinación 26°C, por 63h, 60%HR



Obtención de kiwicha germinada



Secado de kiwicha germinada



Molienda de las semillas de
Kiwicha germinada



Tamizado y obtención de harina
Kiwicha germinada

ANEXO 2

ELABORACIÓN DE HQG



Quinoa variedad Pasankalla



Pesado de la Quinoa variedad Pasankalla



Acondicionamiento de las semillas de quinoa para germinación



Germinación de semillas de quinoa Pasankalla



Obtención de semillas germinadas de Quinoa variedad Pasankalla



secado de semillas germinadas de Quinoa variedad Pasankalla



Tamizado de semillas germinadas de Quinoa variedad Pasankalla



Obtención de harina de Quinoa germinada variedad Pasankalla

ANEXO 3

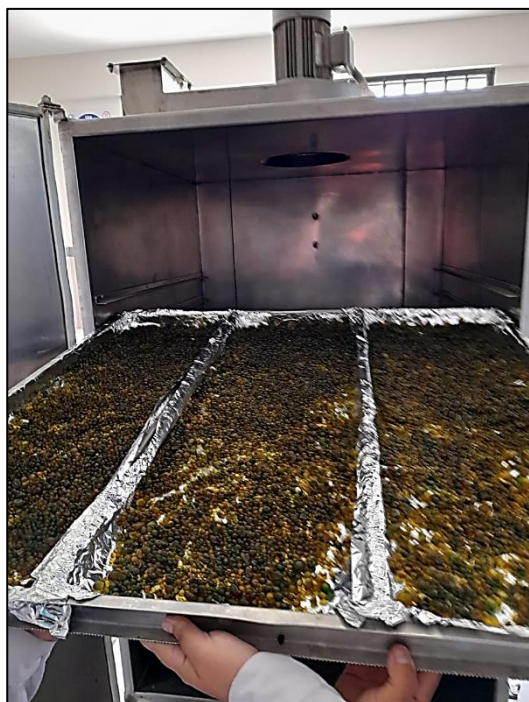
ELABORACIÓN DE HARINA DE CUSHURO



Recepción y lavado de cushuro



Desinfección del cushuro con hipoclorito de sodio al 0,1% por 30



Colocación de cushuro en las bandejas



Secado en el secador de bandejas (THORR, modelo: sbt-10xl). Temperatura de 50 °C durante 24 h



Obtención de cushuro seco



Molienda de cushuro



Tamizado de cushuro



Empacado en bolsas de polietileno

ANEXO 4

ELABORACIÓN DE PASTAS



Pesado de insumos para cada formulación de pastas



Mezclado y amasado en el extrusor PASTAIA 2



Laminado en el extrusor PASTAIA 2



Obtención de pastas



ANEXO 5

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS PARÁMETROS TECNOLÓGICOS

Tabla 5A: resumen de ajuste para componente L de color instrumental de la pasta con HQG

Source	Sequential value	p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.1001		0.2413	0.2223	0.0005	Suggested
Quadratic	0.6286		0.1664	0.1291	-0.6727	
Special Cubic	0.2823		0.1594	0.1662	-0.4823	
Cubic	0.4191		0.0860	0.1757	-20.8592	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.4143		0.0860	0.1757	-20.8592	
Quartic vs Cubic	0.0860			0.5491		Aliased
Quartic vs Sp Quartic	0.0860			0.5491		Aliased

Tabla 5B: anova para modelo lineal del componente L de color instrumental de la pasta con HQG

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	31.87	2	15.93	2.86	0.1001	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	31.87	2	15.93	2.86	0.1001	
Residual	61.32	11	5.57			
Lack of Fit	48.39	7	6.91	2.14	0.2413	not significant
Pure Error	12.93	4	3.23			
Cor Total	93.18	13				

Tabla 5C: Resumen de ajuste para componente a de color instrumental de la pasta con HQG

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	< 0.0001	0.0367	0.7813	0.7223	
Quadratic	0.1892	0.0448	0.8290	0.4303	
Special Cubic	0.0372	0.1053	0.8993	0.4679	
Cubic	0.0467	0.4398	0.9586	0.6516	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.0171	0.4398	0.9586	0.6516	Suggested
Quartic vs Cubic	0.4398		0.9563		Aliased
Quartic vs Sp Quartic	0.4398		0.9563		Aliased

Tabla 5D: Anova para modelo cuartico especial del componente “a” de color instrumental de la pasta con HQG

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	3.95	8	0.4932	38.65	0.0004	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	3.27	2	1.63	128.04	< 0.0001	
AB	0.1403	1	0.1403	11.00	0.0211	
AC	0.3727	1	0.3727	29.21	0.0029	
BC	0.0119	1	0.0119	0.9318	0.3787	
A ² BC	0.1805	1	0.1805	14.15	0.0131	
AB ² C	0.0441	1	0.0441	3.46	0.1221	
ABC ²	0.0429	1	0.0429	3.37	0.1260	
Residual	0.0638	5	0.0128			
Lack of Fit	0.0099	1	0.0099	0.7341	0.4398	not significant
Pure Error	0.0539	4	0.0135			
Cor Total	4.01	13				

Tabla 5E: Resumen de ajuste para componente b de color instrumental de la pasta con HQG

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.4166	0.0002	-0.0079	-0.2833	
Quadratic	0.0025	0.0020	0.7470	0.4847	Suggested
Special Cubic	0.1133	0.0028	0.8030	0.3060	
Cubic	0.0635	0.0053	0.9084	-2.7369	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.0454	0.0053	0.9084	-2.7369	Suggested
Quartic vs Cubic	0.0053		0.9867		Aliased
Quartic vs Sp Quartic	0.0053		0.9867		Aliased

Tabla 5F: Anova para modelo cuartico especial del componente b de color instrumental de la pasta con HQG

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	7.06	8	0.8824	17.11	0.0031	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	1.08	2	0.5385	10.44	0.0164	
AB	0.3708	1	0.3708	7.19	0.0437	
AC	0.0444	1	0.0444	0.8606	0.3962	
BC	3.79	1	3.79	73.42	0.0004	
A ² BC	0.4785	1	0.4785	9.28	0.0285	
AB ² C	0.2130	1	0.2130	4.13	0.0978	
ABC ²	0.1190	1	0.1190	2.31	0.1892	
Residual	0.2578	5	0.0516			
Lack of Fit	0.2278	1	0.2278	30.40	0.0053	significant
Pure Error	0.0300	4	0.0075			
Cor Total	7.32	13				

Tabla 5G: Resumen de ajuste para el tiempo de cocción de la pasta con HQG

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0757		0.2609	0.1275	Suggested
Quadratic	0.7643		0.1131	-1.7209	
Special Cubic	0.0892		0.3485	-2.5272	
Cubic	0.0009		0.9444	-1.5552	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.0006		0.9444	-1.5552	Suggested
Quartic vs Cubic			1.0000		Aliased
Quartic vs Sp Quartic			1.0000		Aliased

Tabla 5H: Anova para modelo cuartico especial del tiempo de cocción de la pasta con HQG

Model	14.61	8	1.83	28.61	0.0009	significant
^(D) Linear Mixture	5.59	2	2.80	43.80	0.0007	
AB	0.7135	1	0.7135	11.18	0.0205	
AC	0.0029	1	0.0029	0.0453	0.8399	
BC	0.0005	1	0.0005	0.0083	0.9308	
A ² BC	6.05	1	6.05	94.81	0.0002	
AB ² C	0.1047	1	0.1047	1.64	0.2566	
ABC ²	1.29	1	1.29	20.15	0.0065	
Residual	0.3192	5	0.0638			
Lack of Fit	0.3192	1	0.3192			
Pure Error	0.0000	4	0.0000			
Cor Total	14.93	13				

Tabla 5I: Resumen de ajuste para el aumento de peso de la pasta con HQG

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.1806	0.0011	0.1342	-0.0215	
Quadratic	0.9647	0.0005	-0.1524	-1.1164	
Special Cubic	0.7380	0.0003	-0.2946	-7.6670	
Cubic	0.0670	0.0005	0.3852	-26.2312	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.1140	0.0005	0.3852	-26.2312	Suggested
Quartic vs Cubic	0.0005		0.9711		Aliased
Quartic vs Sp Quartic	0.0005		0.9711		Aliased

Tabla 5J: Anova para modelo cuartico especial el aumento de volumen de la pasta con HQG

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	9046.34	8	1130.79	2.02	0.2279	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	3168.56	2	1584.28	2.83	0.1509	
AB	9.54	1	9.54	0.0170	0.9013	
AC	169.70	1	169.70	0.3029	0.6058	
BC	270.39	1	270.39	0.4826	0.5182	
A ² BC	4695.00	1	4695.00	8.38	0.0340	
AB ² C	2632.00	1	2632.00	4.70	0.0824	
ABC ²	12.15	1	12.15	0.0217	0.8887	
Residual	2801.65	5	560.33			
Lack of Fit	2696.31	1	2696.31	102.39	0.0005	significant
Pure Error	105.34	4	26.33			
Cor Total	11847.99	13				

Tabla 5K: Resumen de ajuste para pérdida de sólidos de la pasta con HQG

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0990	0.3206	0.2238	-0.0971	
Quadratic	0.0997	0.5458	0.4913	-0.4647	Suggested
Special Cubic	0.1611	0.6871	0.5696	-0.1798	
Cubic	0.4533	0.8085	0.5609	0.0063	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.3400	0.8085	0.5609	0.0063	Suggested
Quartic vs Cubic	0.8085		0.4602		Aliased
Quartic vs Sp Quartic	0.8085		0.4602		Aliased

Tabla 5L: anova para modelo cuartico especial la pérdida de sólidos de la pasta con HQG

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	4.03	8	0.5033	3.08	0.1157	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	1.66	2	0.8315	5.08	0.0625	
AB	0.7004	1	0.7004	4.28	0.0934	
AC	0.2125	1	0.2125	1.30	0.3061	
BC	0.3625	1	0.3625	2.22	0.1968	
A ² BC	0.5125	1	0.5125	3.13	0.1370	
AB ² C	0.0058	1	0.0058	0.0354	0.8582	
ABC ²	0.0017	1	0.0017	0.0103	0.9232	
Residual	0.8183	5	0.1637			
Lack of Fit	0.0135	1	0.0135	0.0670	0.8085	not significant
Pure Error	0.8048	4	0.2012			
Cor Total	4.85	13				

Tabla 5M: resumen de ajuste para componente L de color instrumental de la pasta con harina de kiwicha germinada

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0894	0.4516	0.2381	-0.0689	Suggested
Quadratic	0.7178	0.3178	0.1065	-0.7090	
Special Cubic	0.8398	0.2317	-0.0147	-4.7296	
Cubic	0.1743	0.3252	0.2937	-7.5765	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.2803	0.3252	0.2937	-7.5765	
Quartic vs Cubic	0.3252		0.3281		Aliased
Quartic vs Sp Quartic	0.3252		0.3281		Aliased

Tabla 5N: Anova para modelo lineal para componente L de color instrumental de la pasta con harina de kiwicha germinada

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	20.37	2	10.19	3.03	0.0894	not significant
^(a) Linear Mixture	20.37	2	10.19	3.03	0.0894	
Residual	36.97	11	3.36			
Lack of Fit	25.11	7	3.59	1.21	0.4516	not significant
Pure Error	11.85	4	2.96			
Cor Total	57.34	13				

Tabla 5O: Resumen de ajuste para componente “a” de color instrumental de la pasta con harina de kiwicha germinada

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.8263	0.4313	-0.1415	-0.7940	
Quadratic	0.0715	0.7985	0.3160	-0.5356	Suggested
Special Cubic	0.6567	0.7111	0.2416	-1.0359	
Cubic	0.4769	0.8262	0.2104	-0.6838	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.6195	0.8262	0.2104	-0.6838	
Quartic vs Cubic	0.8262		0.0264		Aliased
Quartic vs Sp Quartic	0.8262		0.0264		Aliased

Tabla 5P: Anova para modelo lineal para componente L de color instrumental de la pasta con harina de kiwicha germinada

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.9121	5	0.1824	2.20	0.1536	not significant
① Linear Mixture	0.0537	2	0.0268	0.3239	0.7324	
AB	0.1227	1	0.1227	1.48	0.2583	
AC	0.0110	1	0.0110	0.1324	0.7254	
BC	0.7136	1	0.7136	8.61	0.0189	
Residual	0.6631	8	0.0829			
Lack of Fit	0.1912	4	0.0478	0.4052	0.7985	not significant
Pure Error	0.4719	4	0.1180			
Cor Total	1.58	13				

Tabla 5Q: resumen de ajuste para componente b de color instrumental de la pasta con harina de kiwicha germinada

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0769	0.2642	0.2588	-0.1012	Suggested
Quadratic	0.1575	0.3712	0.4494	0.0565	Suggested
Special Cubic	0.8520	0.2746	0.3741	-1.4115	
Cubic	0.1213	0.7266	0.6231	-0.1458	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.2028	0.7266	0.6231	-0.1458	
Quartic vs Cubic	0.7266		0.5449		Aliased
Quartic vs Sp Quartic	0.7266		0.5449		Aliased

Tabla 5R: Anova para modelo lineal para componente b de color instrumental de la pasta con harina de kiwicha germinada

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	9.69	5	1.94	3.12	0.0742	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	5.47	2	2.73	4.40	0.0514	
AB	0.5617	1	0.5617	0.9045	0.3694	
AC	0.9137	1	0.9137	1.47	0.2597	
BC	2.57	1	2.57	4.14	0.0764	
Residual	4.97	8	0.6210			
Lack of Fit	2.91	4	0.7287	1.42	0.3712	not significant
Pure Error	2.05	4	0.5133			
Cor Total	14.66	13				

Tabla 5S: Resumen de ajuste para el aumento de peso de la pasta con harina de kiwicha germinada

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0586	< 0.0001	0.2945	0.0203	
Quadratic	0.0303	< 0.0001	0.6633	0.5976	Suggested
Special Cubic	0.2205	< 0.0001	0.6942	-1.1670	
Cubic	0.1344	< 0.0001	0.8082	-7.6794	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.1329	< 0.0001	0.8082	-7.6794	Suggested
Quartic vs Cubic	< 0.0001		0.9961		Aliased
Quartic vs Sp Quartic	< 0.0001		0.9961		Aliased

Tabla 5T: Anova para modelo cuártico especial para el aumento de peso de la pasta con harina de kiwicha germinada

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	2373.74	8	296.72	7.85	0.0182	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	1032.84	2	516.42	13.66	0.0094	
AB	729.26	1	729.26	19.28	0.0071	
AC	265.77	1	265.77	7.03	0.0454	
BC	1.50	1	1.50	0.0396	0.8501	
A ² BC	85.07	1	85.07	2.25	0.1939	
AB ² C	250.16	1	250.16	6.61	0.0499	
ABC ²	6.14	1	6.14	0.1624	0.7036	
Residual	189.09	5	37.82			
Lack of Fit	186.04	1	186.04	243.53	< 0.0001	significant
Pure Error	3.06	4	0.7639			
Cor Total	2562.83	13				

Tabla 5U: Resumen de ajuste para la pérdida de sólidos de la pasta con harina de kiwicha germinada

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0184	0.0098	0.4283	0.3438	Suggested
Quadratic	0.6190	0.0059	0.3630	0.1480	
Special Cubic	0.5353	0.0042	0.3137	-3.9144	
Cubic	0.0728	0.0073	0.6631	-12.4518	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.1118	0.0073	0.6631	-12.4518	Suggested
Quartic vs Cubic	0.0073		0.9428		Aliased
Quartic vs Sp Quartic	0.0073		0.9428		Aliased

Tabla 5V: Anova para modelo cuártico especial para la pérdida de sólidos de la pasta con harina de kiwicha germinada

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.2438	8	0.0305	4.20	0.0654	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0.1446	2	0.0723	9.96	0.0180	
AB	0.0164	1	0.0164	2.26	0.1928	
AC	0.0162	1	0.0162	2.23	0.1956	
BC	2.741E-06	1	2.741E-06	0.0004	0.9852	
A ² BC	0.0199	1	0.0199	2.75	0.1584	
AB ² C	0.0033	1	0.0033	0.4543	0.5302	
ABC ²	0.0699	1	0.0699	9.63	0.0267	
Residual	0.0363	5	0.0073			
Lack of Fit	0.0314	1	0.0314	25.43	0.0073	significant
Pure Error	0.0049	4	0.0012			
Cor Total	0.2802	13				

Tabla 5X: Resumen de ajuste para la firmeza de la pasta con HQG

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.2203		0.1023	-0.3112	
Quadratic	0.0022		0.7830	0.5286	Suggested
Special Cubic	0.4416		0.7736	-0.7173	
Cubic	0.0885		0.8798	-4.5242	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.1245		0.8798	-4.5242	
Quartic vs Cubic			1.0000		Aliased
Quartic vs Sp Quartic			1.0000		Aliased

Tabla 5Y: Anova para modelo cuadrático para la firmeza de la pasta con HQG

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	1.55	5	0.3095	10.38	0.0024	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0.4295	2	0.2147	7.20	0.0162	
AB	0.4186	1	0.4186	14.04	0.0056	
AC	0.0389	1	0.0389	1.31	0.2863	
BC	0.6251	1	0.6251	20.97	0.0018	
Residual	0.2385	8	0.0298			
Lack of Fit	0.2385	4	0.0596			
Pure Error	0.0000	4	0.0000			
Cor Total	1.79	13				

Tabla 5Z: Resumen de ajuste para la fuerza de rotura de la pasta con HQG

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.1609		0.1522	0.0217	Suggested
Quadratic	0.3085		0.2380	-0.5668	
Special Cubic	0.5729		0.1705	-5.0452	
Cubic	0.1566		0.4469	-24.4232	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.2316		0.4469	-24.4232	Suggested
Quartic vs Cubic			1.0000		Aliased
Quartic vs Sp Quartic			1.0000		Aliased

Tabla 5AA: Anova para modelo cuartico especial para la fuerza de rotura de la pasta con HQG

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.4992	8	0.0624	2.31	0.1854	not significant
① Linear Mixture	0.1792	2	0.0896	3.32	0.1209	
AB	0.0009	1	0.0009	0.0339	0.8611	
AC	0.1099	1	0.1099	4.08	0.0995	
BC	0.0785	1	0.0785	2.91	0.1487	
A ² BC	0.0958	1	0.0958	3.55	0.1182	
AB ² C	0.0953	1	0.0953	3.53	0.1189	
ABC ²	0.0144	1	0.0144	0.5344	0.4976	
Residual	0.1349	5	0.0270			
Lack of Fit	0.1349	1	0.1349			
Pure Error	0.0000	4	0.0000			
Cor Total	0.6340	13				

ANEXO 6

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS, CAPACIDAD ANTIOXIDANTES Y ANTINUTRIENTES

Tabla 6A: Resumen de ajuste para TPC de la pasta con HQG

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	< 0.0001		0.8749	0.8446	Suggested
Quadratic	0.0532		0.9308	0.8658	
Special Cubic	0.1341		0.9439	0.7896	
Cubic	0.0259		0.9818	0.1625	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.0210		0.9818	0.1625	Suggested
Quartic vs Cubic			1.0000		Aliased
Quartic vs Sp Quartic			1.0000		Aliased

Tabla 6B: Anova para modelo lineal para TPC de la pasta con HQG

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	6084.30	8	760.54	88.55	< 0.0001	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	5478.69	2	2739.35	318.95	< 0.0001	
AB	21.28	1	21.28	2.48	0.1763	
AC	303.68	1	303.68	35.36	0.0019	
BC	200.70	1	200.70	23.37	0.0047	
A ² BC	34.08	1	34.08	3.97	0.1030	
AB ² C	0.0129	1	0.0129	0.0015	0.9705	
ABC ²	178.77	1	178.77	20.82	0.0060	
Residual	42.94	5	8.59			
Lack of Fit	42.94	1	42.94			
Pure Error	0.0000	4	0.0000			
Cor Total	6127.25	13				

Tabla 6C: Resumen de ajuste para GABA de la pasta con HQG

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0008		0.6795	0.5928	
Quadratic	0.0139		0.8753	0.6641	Suggested
Special Cubic	0.1459		0.8969	0.2125	
Cubic	0.0506		0.9562	-1.0126	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.0422		0.9562	-1.0126	Suggested
Quartic vs Cubic			1.0000		Aliased
Quartic vs Sp Quartic			1.0000		Aliased

Tabla 6D: Anova para modelo lineal para GABA de la pasta con HQG

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	382.60	8	47.83	36.49	0.0005	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	283.63	2	141.81	108.19	< 0.0001	
AB	1.35	1	1.35	1.03	0.3574	
AC	82.41	1	82.41	62.87	0.0005	
BC	11.74	1	11.74	8.95	0.0304	
A ² BC	2.64	1	2.64	2.01	0.2151	
AB ² C	7.01	1	7.01	5.35	0.0686	
ABC ²	13.66	1	13.66	10.42	0.0233	
Residual	6.55	5	1.31			
Lack of Fit	6.55	1	6.55			
Pure Error	0.0000	4	0.0000			
Cor Total	389.16	13				

Tabla 6E: Resumen de ajuste para ORAC de la pasta con HQG

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0002		0.7449	0.6972	Suggested
Quadratic	0.4230		0.7481	0.2853	
Special Cubic	0.1371		0.7948	-0.2744	
Cubic	0.0011		0.9809	0.1202	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.0010		0.9809	0.1202	Suggested
Quartic vs Cubic			1.0000		Aliased
Quartic vs Sp Quartic			1.0000		Aliased

Tabla 6F: Anova para modelo lineal para GABA de la pasta con HQG

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	139.11	8	17.39	84.27	< 0.0001	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	109.89	2	54.95	266.26	< 0.0001	
AB	3.92	1	3.92	19.02	0.0073	
AC	10.62	1	10.62	51.45	0.0008	
BC	0.4973	1	0.4973	2.41	0.1813	
A ² BC	13.48	1	13.48	65.31	0.0005	
AB ² C	1.59	1	1.59	7.69	0.0392	
ABC ²	6.32	1	6.32	30.61	0.0026	
Residual	1.03	5	0.2064			
Lack of Fit	1.03	1	1.03			
Pure Error	0.0000	4	0.0000			
Cor Total	140.14	13				

Tabla 6G: resumen de ajuste para ácido fítico de la pasta con HQG

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.2005		0.1176	-0.1188	
Quadratic	0.2970		0.2156	-0.9673	
Special Cubic	0.1029		0.4033	-1.9662	
Cubic	0.1939		0.5665	-18.9226	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.1238		0.5665	-18.9226	Suggested
Quartic vs Cubic			1.0000		Aliased
Quartic vs Sp Quartic			1.0000		Aliased

Tabla 6H: Anova para modelo lineal para GABA de la pasta con HQG

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.0230	8	0.0029	3.12	0.1126	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0.0070	2	0.0035	3.80	0.0992	
AB	0.0001	1	0.0001	0.1303	0.7329	
AC	0.0006	1	0.0006	0.6488	0.4571	
BC	0.0001	1	0.0001	0.0794	0.7894	
A ² BC	0.0000	1	0.0000	0.0468	0.8373	
AB ² C	0.0003	1	0.0003	0.2729	0.6237	
ABC ²	0.0068	1	0.0068	7.41	0.0416	
Residual	0.0046	5	0.0009			
Lack of Fit	0.0046	1	0.0046			
Pure Error	0.0000	4	0.0000			
Cor Total	0.0276	13				

Tabla 6I: resumen de ajuste para ácido fítico de la pasta con harina de kiwicha germinada

Linear	0.4636	-0.0277	-0.3053	
Quadratic	0.0352	0.4901	-1.0698	
Special Cubic	0.0035	0.8410	-0.1328	
Cubic	0.1652	0.8917	-3.9792	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.0125	0.8917	-3.9792	Suggested
Quartic vs Cubic		1.0000		Aliased
Quartic vs Sp Quartic		1.0000		Aliased

Tabla 6J: Anova para modelo cuártico especial para ácido fítico de la pasta con harina de kiwicha germinada

Model	0.0413	8	0.0052	14.38	0.0047	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0.0056	2	0.0028	7.83	0.0288	
AB	0.0002	1	0.0002	0.5409	0.4951	
AC	0.0341	1	0.0341	94.94	0.0002	
BC	0.0020	1	0.0020	5.51	0.0657	
A ² BC	0.0044	1	0.0044	12.11	0.0176	
AB ² C	0.0000	1	0.0000	0.0666	0.8067	
ABC ²	0.0010	1	0.0010	2.77	0.1568	
Residual	0.0018	5	0.0004			
Lack of Fit	0.0018	1	0.0018			
Pure Error	0.0000	4	0.0000			
Cor Total	0.0431	13				

Tabla 6K: resumen de ajuste para GABA de la pasta con harina de kiwicha germinada

Linear	< 0.0001	0.8257	0.7569	
Quadratic	0.0255	0.9205	0.7999	
Special Cubic	0.1138	0.9380	0.6793	
Cubic	< 0.0001	0.9984	0.9261	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	< 0.0001	0.9984	0.9261	Suggested
Quartic vs Cubic		1.0000		Aliased
Quartic vs Sp Quartic		1.0000		Aliased

Tabla 6L: Anova para modelo cuártico especial para GABA de la pasta con harina de kiwicha germinada

Model	0.0413	8	0.0052	14.38	0.0047	significant
^① Linear Mixture	0.0056	2	0.0028	7.83	0.0288	
AB	0.0002	1	0.0002	0.5409	0.4951	
AC	0.0341	1	0.0341	94.94	0.0002	
BC	0.0020	1	0.0020	5.51	0.0657	
A ² BC	0.0044	1	0.0044	12.11	0.0176	
AB ² C	0.0000	1	0.0000	0.0666	0.8067	
ABC ²	0.0010	1	0.0010	2.77	0.1568	
Residual	0.0018	5	0.0004			
Lack of Fit	0.0018	1	0.0018			
Pure Error	0.0000	4	0.0000			
Cor Total	0.0431	13				

Tabla 6M: resumen de ajuste para TPC de la pasta con harina de kiwicha germinada

Linear	0.0217	0.4111	0.2028	Suggested
Quadratic	0.1223	0.5920	-0.1384	
Special Cubic	0.1235	0.6757	-0.6459	
Cubic	0.8921	0.5662	-18.9373	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.5268	0.5662	-18.9373	
Quartic vs Cubic		1.0000		Aliased
Quartic vs Sp Quartic		1.0000		Aliased

Tabla 6N: Anova para modelo lineal para TPC de la pasta con harina de kiwicha germinada

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	4220.06	2	2110.03	5.54	0.0217	significant
^(d) Linear Mixture	4220.06	2	2110.03	5.54	0.0217	
Residual	4191.65	11	381.06			
Lack of Fit	4191.65	7	598.81			
Pure Error	0.0000	4	0.0000			
Cor Total	8411.72	13				

Tabla 6M: resumen de ajuste para ORAC de la pasta con harina de kiwicha germinada

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0004		0.7195	0.6268	Suggested
Quadratic	0.1067		0.8128	0.5575	
Special Cubic	0.0683		0.8712	0.4357	
Cubic	0.0477		0.9466	-1.4540	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.0255		0.9466	-1.4540	Suggested
Quartic vs Cubic			1.0000		Aliased
Quartic vs Sp Quartic			1.0000		Aliased

Tabla 6N: Anova para modelo lineal para TPC de la pasta con harina de kiwicha germinada

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	314.13	8	39.27	29.81	0.0008	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	244.60	2	122.30	92.85	0.0001	
AB	0.1259	1	0.1259	0.0956	0.7697	
AC	2.09	1	2.09	1.59	0.2633	
BC	8.77	1	8.77	6.66	0.0494	
A ² BC	1.49	1	1.49	1.13	0.3362	
AB ² C	0.0556	1	0.0556	0.0422	0.8453	
ABC ²	23.82	1	23.82	18.08	0.0081	
Residual	6.59	5	1.32			
Lack of Fit	6.59	1	6.59			
Pure Error	0.0000	4	0.0000			
Cor Total	320.71	13				

ANEXO 7

FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE UNA PASTA ENRIQUECIDA CON PSEUDOCEREALES ANDINOS GERMINANOS Y CUSHURO

FECHA: __/__/__

PANELISTA: _____

INSTRUCCIONES PAR LA EVALUACION SENSORIAL:

Frente a Ud. Hay muestras de pastas crudas enriquecidas con pseudocereales andinos germinados y cushuro para que evalúe: **COLOR, ACEPTACIÓN GENERAL E INTENCIÓN DE COMPRA.**

Coloque su puntaje para **COLOR Y ACEPTACIÓN GENERAL**, según la siguiente escala hedónica:

Para **INTENCIÓN DE COMPRA**, coloque su puntaje según la siguiente escala:

Escala hedónica	puntaje
Me disgusta muchísimo	1
Me disgusta mucho	2
Me disgusta moderadamente	3
Me disgusta levemente	4
No me gusta ni disgusta	5
Me gusta levemente	6
Me gusta moderadamente	7
Me gusta mucho	8
Me gusta muchísimo	9

Escala hedónica	puntaje
Ciertamente no lo compraría	1
Probablemente no lo compraría	2
Podría comprarlo o no	3
Probablemente lo compraría	4
Ciertamente lo compraría	5

MUESTRA (código)	COLOR	ACEPTACION GENERAL	INTENCIÓN DE COMPRA

ANEXO 8

FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE UNA PASTA ENRIQUECIDA CON PSEUDOCEREALES ANDINOS GERMINANOS Y CUSHURO

FECHA: __/__/__

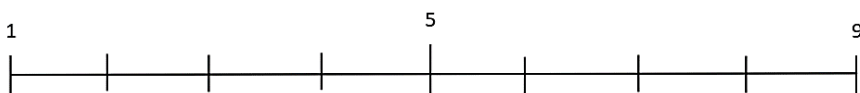
PANELISTA: _____

INSTRUCCIONES PAR LA EVALUACION SENSORIAL:

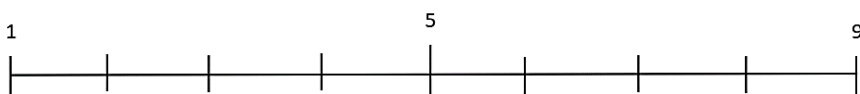
Frente a Ud. hay muestras de pastas cocidas enriquecidas con pseudocereales andinos germinados y cushuro para que evalúe: **COLOR, OLOR, SABOR, TEXTURA Y ACEPTACIÓN GENERAL. MANTENGA EL ORDEN** por favor al comparar. Primero color, olor, luego sabor y textura de las muestras. Finalmente, su aceptación general.

Marque con un **X** dentro de la escala del 1 al 9 donde 1 significa “Me disgusta muchísimo” y 9 es un “me gusta muchísimo”

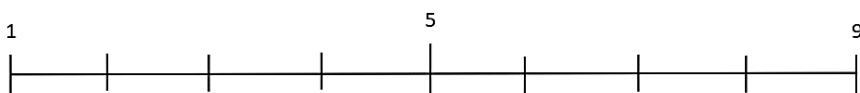
Respecto a **OLOR** del producto:



Respecto a **COLOR** del producto:



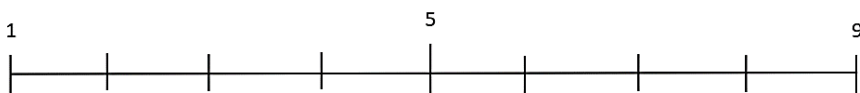
Respecto a **TEXTURA** del producto:



Respecto a **SABOR** del producto:



Respecto a **GUSTO GENERAL** del producto:



ANEXO 9

FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE UNA PASTA ENRIQUECIDA CON PSEUDOCEREALES ANDINOS GERMINANOS Y CUSHURO

FECHA: __/__/__

PANELISTA: _____

INSTRUCCIONES PAR LA EVALUACION SENSORIAL:

Frente a Ud. tiene 2 muestras de pastas cocidas enriquecidas con pseudocereales andinos germinados y cushuro, marque todas las características que ud. cree guarden relación con cada una de ellas:

CÓDIGO PASTA: _____

☐	oscuro
☐	puntos oscuros
☐	color heterogéneo
☐	color homogéneo
☐	color opaco
☐	olor a trigo
☐	olor a alga
☐	olor a grano germinado
☐	olor a vegetal
☐	sabor dulce
☐	Regusto a vegetales
☐	sabor a trigo
☐	sabor a alga
☐	textura grumosa
☐	blando
☐	pegajoso
☐	separación de componentes
☐	apariencia heterogénea
☐	apariencia innovadora

CÓDIGO PASTA: _____

☐	oscuro
☐	puntos oscuros
☐	color heterogéneo
☐	color homogéneo
☐	color opaco
☐	olor a trigo
☐	olor a alga
☐	olor a grano germinado
☐	olor a vegetal
☐	sabor dulce
☐	Regusto a vegetales
☐	sabor a trigo
☐	sabor a alga
☐	textura grumosa
☐	blando
☐	pegajoso
☐	separación de componentes
☐	apariencia heterogénea
☐	apariencia innovadora