

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



**UNS**  
**ESCUELA DE**  
**POSGRADO**

---

---

**Desarrollo de productos de panificación saludables con alto contenido de compuesto bioactivos y actividad antioxidante a partir de harina de quinua (*chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*) germinados**

---

---

**Tesis para optar el grado de Doctor en**  
**Ingeniería Agroindustrial**

**Autora:**

**Ms. Esquivel Paredes, Lourdes Jossefyne**  
**Código ORCID: 0000-0001-5541-2940**

**Asesora:**

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

**Coasesora:**

**Dra. Martínez Villaluenga, Cristina**

**Línea de Investigación:**

**Producción y evaluación de productos agroindustriales**

**Nuevo Chimbote - PERÚ**  
**2025**



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

### CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE LA TESIS

Yo, Dra. Luz María Paucar Menacho, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis de doctorado titulada: "Desarrollo de productos de panificación saludables con alto contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*) germinados.", elaborado por el doctorando Lourdes Jossefyne Esquivel Paredes, para obtener el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Agroindustrial en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, 23 de Setiembre del 2025

.....  
Dra. Luz María Paucar Menacho

VOCAL

CÓDIGO ORCID: 0000-0001-5349-6167

DNI N° 08099817





**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

**HOJA DEL AVAL DEL JURADO EVALUADOR**

**“Desarrollo de productos de panificación saludables con alto contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*) germinados”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Dr. Cesar Moreno Rojo

PRESIDENTE

CÓDIGO ORCID: 0000-0002-7143-4450

DNI N°: 32907242

Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca

SECRETARIO

CÓDIGO ORCID: 0000-0003-4326-1852

DNI N°: 18146173

Dra. Luz María Paucar Menacho

VOCAL

CÓDIGO ORCID: 0000-0001-5349-6167

DNI N° 08099817



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

### ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

A los veinticuatro días del mes de enero del año 2022, siendo las 17:30 horas, a través de la plataforma de videoconferencia ZOOM, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 557-2021-EPG-UNS de fecha 10 de diciembre de 2021, conformado por: Dr. César Moreno Rojo (Presidente), Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca (Secretario) y Dra. Luz María Paucar Menacho (Vocal), con la finalidad de evaluar la sustentación virtual de la tesis titulada: **DESARROLLO DE PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN SALUDABLES CON ALTO CONTENIDO DE COMPUESTO BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE A PARTIR DE HARINA DE QUINUA (Chenopodium quinoa) Y KIWICHA (Amaranthus caudatus) GERMINADOS**, presentado por la tesista **Lourdes Josefyne Esquivel Paredes** egresada del programa de **Doctorado en Ingeniería Agroindustrial**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 018-2022-EPG-UNS de fecha 19 de enero de 2022.

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 **APROBADA**, asignándole la calificación de **\_\_DIECINUEVE (19)**.

Siendo las **\_\_19.30\_\_** horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nombre: **Dr. Cesar Moreno Rojo**

PRESIDENTE

Nombre: **Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca**

SECRETARIO

Nombre: **Dra. Luz María Paucar Menacho**

VOCAL



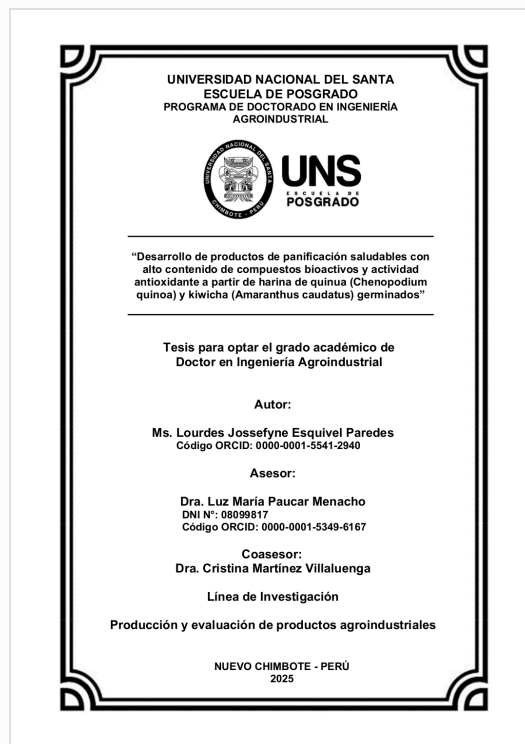


## Recibo digital

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: user user  
Título del ejercicio: Desarrollo de productos de panificación saludables con alto c...  
Título de la entrega: INFORME LOURDES 30.09.25.docx  
Nombre del archivo: INFORME\_LOURDES\_30.09.25.docx  
Tamaño del archivo: 10.32M  
Total páginas: 145  
Total de palabras: 31,514  
Total de caracteres: 172,388  
Fecha de entrega: 30-sept-2025 12:09p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2766944539



INFORME DE ORIGINALIDAD

24%	23%	8%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	10%
2	<a href="https://digital.csic.es">digital.csic.es</a> Fuente de Internet	4%
3	Ibrahim Hassan Kobe, Abdulrahman Asipital Salawu, Abolarin Mathew Sunday, Adedipe Oyewole et al. "Statistical design for optimal physical and biomechanical characteristics of biocomposite prostheses", Scientific African, 2025 Publicación	2%
4	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	1%
7	<a href="https://tud.qucosa.de">tud.qucosa.de</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="https://revistas.ucv.edu.pe">revistas.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="https://repositorio.uss.edu.pe">repositorio.uss.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
10	<a href="https://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1%
11	<a href="https://www.revistas.unitru.edu.pe">www.revistas.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%



## **DEDICATORIA**

Este éxito no es solo mío, sino el reflejo de todas las manos y corazones que estuvieron conmigo en este camino con tantos desafíos y lecciones.

Estoy tan agradecida más allá de las palabras a Dios, el dador de vida y fuerza, por iluminar mi camino, por hacer posible que llegue a donde estoy y por estar allí conmigo cuando más necesitaba esperanza.

Te amo, mi familia, mi roca, mi inquebrantable a esta vida que debo. Gracias por estar ahí para mí en los malos momentos, por ser pacientes conmigo y, a pesar de todo, por nunca dejarme olvidar mi parte de sueños... cómo están hechos de dedicación y fe.

Esta victoria es tanto tuya como mía.

**Lourdes Jossefyne Esquivel Paredes**

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo expresar mi gratitud a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de esta investigación. A quienes, de una u otra manera, me acompañaron en los momentos difíciles y también en los instantes de alegría, les dedico estas líneas con profundo aprecio y reconocimiento.

A CONCYTEC-PROCIENCIA por el financiamiento de esta tesis en el marco de la convocatoria E041-01 (C 27-2018-FONDECYT-BM).

Nuestros docentes son un pilar fundamental para el aprendizaje. Gracias Dra. Luz María Paucar Menacho mi asesora de tesis, y Dra. Cristina Martínez Villalengua mi coasesora de tesis quienes, con sus conocimientos y su gran trayectoria, hicieron posible la culminación de mi trabajo de investigación.

A mis amigos Williams, Wilson, John, Willy y Pedro, infinitamente gracias por el apoyo incondicional, por facilitarme los caminos para seguir, sin pedir nada a cambio.

**Lourdes Jossefyne Esquivel Paredes**



# ÍNDICE

	Pag
Resumen	vii
Abstract	viii
I. Introducción	1
II. Marco Teórico	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Fundamentos teóricos de la investigación	6
2.3. Marco Conceptual	25
III. Metodología	27
3.1. Materiales	27
3.1.1. Bienes	27
3.1.2. Materiales, reactivos y herramientas	27
3.2. Métodos	27
3.2.1. Métodos de la investigación	27
3.2.2. Diseño	28
3.2.3. Población y muestra	32
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	32
3.4. Procedimiento de la recolección de datos	33
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de los resultados	36
IV. Resultados Y Discusión	37
4.1. Germinación de los granos andinos	37
4.2. Elaboración de harina a partir de los granos andinos germinados	39
4.3. Caracterización de la composición proximal, compuestos fenólicos solubles (TPC), ácido gamma-aminobutírico (GABA) y actividad antioxidante (ORAC) de la harina de granos germinados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> ) y kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> )	43
4.4. Elaboración de los productos de panificación	50
4.5. Influencia de la sustitución parcial de harinas germinadas en la elaboración de pan de molde y galletas	56
4.6. Optimizar la sustitución de harina de trigo por harina de granos germinados de kiwicha y quinua para la elaboración de galletas en función del contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante	75
4.7. Optimizar la sustitución de harina de trigo por harina de granos germinados de kiwicha y quinua para la elaboración de panes de molde en función del contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante	88
V. Conclusiones y Recomendaciones	101
5.1. Conclusiones	101
5.2. Recomendaciones	102
VI. Referencia Bibliográfica	103
VII. Anexos	117

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag
Tabla 1. Composición próxima de cereales y granos andinos (g/100g m.s.)	11
Tabla 2. Contenido de aminoácidos en granos andinos (mg de aa/16gr de nitrógeno)	11
Tabla 3. Composición nutricional del pan de molde	23
Tabla 4. Puntos Experimentales – Elaboración de Galletas	28
Tabla 5. Puntos Experimentales – Elaboración de Panes de Molde	28
Tabla 6. Matriz de experimentos – Galletas	29
Tabla 7. Matriz de experimentos – Pan del molde	29
Tabla 8. Análisis proximal de las harinas a partir de granos andinos de kiwicha y quinua germinados y sin germinar	43
Tabla 9. Compuestos fenólicos solubles de las harinas a partir de granos andinos de kiwicha y quinua germinados y sin germinar.	46
Tabla 10. Contenido de ácido gamma-aminobutírico (GABA) de las harinas a partir de granos andinos de kiwicha y quinua germinados y sin germinar.	47
Tabla 11. Capacidad antioxidante (ORAC) de las harinas a partir de granos andinos de kiwicha y quinua germinados y sin germinar	48
Tabla 12. Contenido de Ácido Fítico de las harinas a partir de granos andinos de kiwicha y quinua germinados y sin germinar	49
Tabla 13. Matriz de resultados de los parámetros reológicos a partir de la mezcla de harinas obtenidas de granos germinados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> var. <i>Pasankalla</i> ) y kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> var. <i>Centenario</i> ).	58
Tabla 15. Matriz de resultados con la capacidad antioxidante, contenido de compuestos fenólicos libres y contenido de ácido fitico en los tratamientos experimentales de las galletas elaboradas a partir de harinas obtenidas de granos germinados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> var. <i>Pasankalla</i> ) y kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> var. <i>Centenario</i> ).	77
Tabla 16. Tukey's standarizado de la Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF).	79
Tabla 17. Tukey's standarizado de la Capacidad de absorción de compuestos fenólicos libres (TPC) debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF).	84
Tabla 18. Tukey's standarizado de Ácido Fítico debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF).	86
Tabla 19. Formulaciones optimizadas a partir de la mezcla de harinas obtenidas de granos germinados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> var. <i>Pasankalla</i> ) y kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> var. <i>Centenario</i> ).	87
Tabla 20: Matriz de resultados de la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos libres, GABA y contenido de ácido fitico en los tratamientos experimentales de panes de mole elaborados a partir de harinas obtenidas de granos germinados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> var. <i>Pasankalla</i> ) y kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> var. <i>Centenario</i> ).	90



Tabla 21. Tukey's standarizado de ORAC debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF).	92
Tabla 22. Tukey's standarizado de Ácido Fítico debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF).	96
Tabla 23. Tukey's standarizado de GABA debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF).	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Esperanza global de vida en años, 2000 – 2016	6
Figura 2. Granos andinos de Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> )	9
Figura 3. Granos andinos de Kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> )	10
Figura 4. Síntesis de GABA por la enzima glutamato descarboxilasa (GAD)	15
Figura 5. Etapas de la germinación de granos	17
Figura 6. Proceso de germinación de los granos de quinua y kiwicha	38
Figura 7. Diagrama de bloques de la germinación de granos de kiwicha	40
Figura 8. Diagrama de bloques de la germinación de granos de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> ).	41
Figura 9. Proceso para la elaboración de pan de molde a partir de harinas germinadas	51
Figura 10. Proceso para la elaboración de galletas a partir de harinas germinadas	55
Figura 11. Superficie de Contorno para la Absorción de Agua de la mezcla harinas de GQF, GKF y WF.	60
Figura 12 Superficie de respuesta para la Absorción de Agua de la mezcla de GQF, GKF y WF.	60
Figura 13. Superficie de Contorno - Tiempo de Desarrollo de la masa (DT) de la mezcla de GQF, GKF y WF.	62
Figura 14. Superficie de Respuesta - Tiempo de Desarrollo de la masa (DT) de la mezcla de GQF, GKF y WF.	63
Figura 15. Superficie de Contorno para la Estabilidad (S) de la mezcla de GQF, GKF y WF.	64
Figura 16. Superficie de respuesta para la Estabilidad (S) de la mezcla de GQF, GKF y WF.	64
Figura 17. Superficie de Contorno para la Consistencia (C) de la mezcla de GQF, GKF y WF.	66
Figura 18. Superficie de Respuesta para la Consistencia (C) de la mezcla de GQF, GKF y WF.	66
Figura 19. Superficie de Contorno para la Temperatura de Gelatinización (GT) de la mezcla de GQF, GKF y WF.	68
Figura 20. Superficie de Respuesta para la Temperatura de Gelatinización (GT) de la mezcla de GQF, GKF y WF.	68
Figura 21. Superficie de Contorno para la Gelatinización máxima (GM) de la mezcla de GQF, GKF y WF.	70
Figura 22. Superficie de Respuesta para la Gelatinización máxima (GM) de la mezcla harina de GQF, GKF y WF.	70
Figura 23 Superficie de Contorno de la Resistencia a la Extensión (RE) de la mezcla de GQF, GKF y WF.	72
Figura 24. Superficie de Respuesta de la Resistencia a la Extensión (RE) de la mezcla de GQF, GKF y WF.	72
Figura 25. Superficie de Contorno de Extensibilidad (E) de la mezcla de GQF, GKF y WF.	74
Figura 26. Superficie de Respuesta de Extensibilidad (E) de la mezcla de GQF, GKF y WF.	74



Figura 27. Comportamiento de la Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF).	78
Figura 28. Superficie de Contorno para GABA – galleta a base de GQF, GKF y WF.	81
Figura 29. Superficie de respuesta para GABA – galleta a base de GQF, GKF y WF.	82
Figura 30. Comportamiento de GABA debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)	83
Figura 31. Comportamiento de TPC debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)	83
Figura 32. Comportamiento de Ácido Fítico debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)	85
Figura 33. Optimización conjunta de variable para la galleta a partir de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)	88
Figura 34. Comportamiento de ORAC debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)	91
Figura 35. Comportamiento de TPC debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)	93
Figura 36 Superficie de Contorno para TPC – galleta a base de GQF, GKF y WF.	94
Figura 37. Superficie de Respuesta para TPC – galleta a base de GQF, GKF y WF.	95
Figura 38. Comportamiento de Ácido Fítico debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)	95
Figura 39. Comportamiento de GABA debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)	97
Figura 40. Optimización conjunta de variable para el pan de molde a partir de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)	100



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

### CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE LA TESIS

Yo, Dra. Luz María Paucar Menacho, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis de doctorado titulada: "Desarrollo de productos de panificación saludables con alto contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*) germinados.", elaborado por el doctorando Lourdes Jossefyne Esquivel Paredes, para obtener el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Agroindustrial en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, 23 de Setiembre del 2025

Dra. Luz María Paucar Menacho

VOCAL

CÓDIGO ORCID: 0000-0001-5349-6167

DNI N° 08099817





**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

**HOJA DEL AVAL DEL JURADO EVALUADOR**

**“Desarrollo de productos de panificación saludables con alto contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*) germinados”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Dr. Cesar Moreno Rojo

PRESIDENTE

CÓDIGO ORCID: 0000-0002-7143-4450

DNI N°: 32907242

Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca

SECRETARIO

CÓDIGO ORCID: 0000-0003-4326-1852

DNI N°: 18146173

Dra. Luz María Paucar Menacho

VOCAL

CÓDIGO ORCID: 0000-0001-5349-6167

DNI N° 08099817



## **RESUMEN**

Esta investigación tuvo como objetivo formular productos de panificación saludables a partir de harina de quinua (GQF) y kiwicha (GKF) germinados. Se elaboró pan de molde con sustitución parcial de harina de trigo – WF (80-90%), por GQF (5-15%) y GKF (5-15%), en cuanto a las galletas se sustituyó parcialmente la WF (60-80%) por GQF (5-25%) y GKF (5-25%), con un total de 14 experimentos por producto según diseño de mezclas simplex centroide aplicado. En conclusión, la incorporación de harinas germinadas en la panificación es una alternativa viable para enriquecer el perfil nutricional de panes y galletas, ya que se evidenció aumentos significativos de compuestos bioactivos según los análisis de ORAC, TPC y GABA, variables dependientes que optimizaron la formulación de los productos.

Palabras Claves: GABA, ORAC, TPC, pan, galleta.

## ABSTRACT

This research aimed to formulate healthy bakery products from sprouted quinoa grain flour (GQF) and kiwicha (GKF). Sliced bread was produced by partially replacing wheat flour (WF) (80-90%) with GQF (5-15%) and GKF (5-15%). For biscuits, WF (60-80%) was partially replaced by GQF (5-25%) and GKF (5-25%). A total of 14 experiments per product were performed using the centroid simplex mixture design. In conclusion, the incorporation of germinated flours in baking is a viable alternative for enriching the nutritional profile of breads and biscuits, as significant increases in bioactive compounds were observed according to ORAC, TPC, and GABA analyses, which were dependent variables that optimized the product formulation.

Keywords: GABA, ORAC, TPC, bread, biscuit.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se observa un incremento preocupante de enfermedades vinculadas a los hábitos alimenticios, lo cual resalta la necesidad de promover una dieta saludable, basada en productos con alto valor nutricional y con efectos positivos en la salud. En este contexto, los granos andinos germinados, como la quinua y la kiwicha, han adquirido relevancia debido a su contenido de compuestos bioactivos, su capacidad antioxidante y los beneficios que aportan al sistema inmunológico, lo que ha favorecido su inclusión en la dieta diaria. Sin embargo, su aplicación como materia prima en la industria alimentaria aún es limitada, principalmente por la escasa implementación de tecnologías que permitan diseñar y elaborar productos a partir de estos granos germinados. Por tal motivo, el desarrollo de procesos tecnológicos innovadores se plantea como una alternativa que posibilita la obtención de alimentos con un perfil nutricional superior, enriquecidos en aminoácidos esenciales, enzimas, fibra y antioxidantes, derivados de las transformaciones bioquímicas que ocurren durante la germinación.

El Perú, reconocido por su diversidad agrícola, dispone de gran cantidad y calidad de granos andinos, entre ellos la quinua y la kiwicha. Estos pueden ser potenciados mediante procesos de germinación para luego emplearse en la elaboración de alimentos de consumo cotidiano como panes y galletas. Dichos productos, al ser consumidos masivamente, representan una vía accesible para mejorar la nutrición de la población, además de constituir una opción viable para su distribución a través de programas sociales.

No obstante, los estilos de vida actuales se ven condicionados por múltiples factores negativos: la contaminación ambiental, la exposición a radiaciones, el consumo de tabaco, alcohol y drogas, así como una dieta desequilibrada basada en productos industrializados ricos en aditivos, grasas saturadas y colorantes sintéticos. Estas condiciones alteran los procesos metabólicos celulares y favorecen reacciones de oxidación-reducción que incrementan la producción de radicales libres, lo cual conduce a estados de malnutrición que se manifiestan como desnutrición, sobrepeso u obesidad. Este último, definido como la acumulación excesiva de grasa corporal, constituye un grave riesgo para la salud (Chalé, Betancur, Rubi, & Campos, 2014).



De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el sobrepeso y la obesidad representan el quinto factor de riesgo de mortalidad a nivel global, con aproximadamente 2.8 millones de muertes anuales, siendo responsables de un elevado porcentaje de la carga de enfermedades crónicas como la diabetes, cardiopatías y ciertos tipos de cáncer. En el caso peruano, se evidencia un aumento de enfermedades no transmisibles, entre ellas la enfermedad cardiovascular, la diabetes mellitus, el síndrome metabólico, el cáncer y la obesidad (Chávez, 2017). Por otra parte, la exposición continua a pesticidas, fertilizantes, medicamentos y al estrés cotidiano, favorece la generación de especies reactivas de oxígeno y radicales libres, elementos que deterioran la salud (Again, 2013). En los últimos cinco años, las enfermedades degenerativas asociadas al estrés oxidativo han mostrado un incremento anual del 1.36% (MINSA, 2017), y su exceso se relaciona con la incidencia de patologías como cáncer, cataratas, enfermedades cardiovasculares, artrosis y alteraciones cerebrales (Villano, 2017). El estrés oxidativo puede definirse, entonces, como el daño ocasionado en biomoléculas esenciales —proteínas, lípidos y ácidos nucleicos— por acción de los radicales libres, lo que incluso puede llevar a la muerte celular (Hern, Titular, Nacional, Natural, & Adjunta, 2015.).

En los organismos vivos, los efectos de las especies reactivas de oxígeno suelen regularse mediante mecanismos fisiológicos de defensa antioxidante. Sin embargo, cuando estos sistemas se ven sobrepasados, el desequilibrio conlleva al deterioro progresivo de tejidos y órganos, derivando finalmente en enfermedades crónicas (Hern et al., 2019). Aunque existen alimentos y suplementos con capacidad antioxidante, su desconocimiento o su elevado costo restringe el acceso de los sectores más vulnerables. Esta situación resulta paradójica en un país megadiverso como el Perú, que dispone de un amplio potencial de recursos fitogenéticos, especialmente de granos andinos, cuyo aprovechamiento industrial aún es incipiente.

De ahí surge la necesidad de diseñar alimentos funcionales, accesibles y con alto contenido de compuestos bioactivos. Los productos de panificación, ampliamente consumidos en la población, constituyen un vehículo idóneo para incorporar harinas de granos germinados, sustituyendo a las harinas refinadas que aportan únicamente calorías. Este enfoque permitiría desarrollar panes y galletas enriquecidos con antioxidantes y nutrientes bioactivos, contribuyendo a la

reducción de enfermedades crónicas no transmisibles. No obstante, la falta de estandarización tecnológica limita la producción de alimentos transformados a partir de estos insumos (Ida del Greco, 2010).

Bajo este marco, la presente investigación se plantea como problema central: ¿Cuál es el efecto de desarrollar productos de panificación a partir de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*) germinados sobre el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en galletas y pan de molde?

En consecuencia, se propone como **objetivo general** desarrollar productos de panificación con capacidad antioxidante y contenido de compuestos bioactivos a partir de granos andinos germinados. Los objetivos específicos comprenden: (i) elaborar harinas de quinua y kiwicha germinadas, (ii) determinar su composición proximal, contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, (iii) evaluar el efecto de su incorporación en las propiedades reológicas de las masas y (iv) optimizar la sustitución de harina de trigo por dichas harinas en la elaboración de pan de molde y galletas.

La hipótesis central sostiene que el uso de harinas de quinua y kiwicha germinadas incrementa de manera significativa el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en los productos de panificación.

La investigación se justifica en la creciente importancia de los alimentos funcionales, los cuales no solo aportan nutrientes, sino que también contribuyen a la prevención de enfermedades gracias a sus propiedades fisiológicas. Entre las alternativas, los granos andinos germinados constituyen una estrategia eficaz de biofortificación, ya que durante la germinación se incrementa notablemente la producción de vitaminas, clorofila, enzimas, fibra y antioxidantes. Así, el Perú posee un valioso recurso para generar harinas con potencial de convertirse en insumos nutraceuticos al alcance de toda la población.

En germinados como la kiwicha o la soya, los niveles de vitaminas del complejo B pueden duplicarse, además de mejorar la digestibilidad y el sabor debido a la conversión del almidón en azúcares simples y de las proteínas en aminoácidos. En este sentido, el consumo de panes y galletas elaborados con harinas germinadas de granos andinos permitiría introducir en la dieta compuestos bioactivos con efecto antioxidante y protector frente a enfermedades degenerativas, cardiovasculares y crónicas (Villano, 2017).

Por tanto, esta investigación busca desarrollar productos de panificación con características nutracéuticas, elaborados a partir de quinua y kiwicha germinadas, que resulten accesibles para la población y que aporten beneficios comprobados para la salud.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Diversas investigaciones coinciden en que la germinación potencia compuestos funcionales. Paucar et al. (2017) observaron que al germinar kiwicha durante 63 h a 26 °C, los niveles de ácido gamma-aminobutírico (GABA), compuestos fenólicos (PC) y actividad antioxidante aumentaron en 29.1, 4.0 y 6.4 veces, respectivamente. Abderrahim et al. (2015) estudiaron diferentes variedades de quinua de color con el propósito de caracterizar sus atributos físicos, la concentración de compuestos bioactivos y su capacidad antioxidante total (TAC). Los resultados mostraron que las semillas no presentaban un tono rojo uniforme, sino una mezcla de colores asociados a valores fractales que oscilaron entre 51.0 y 71.8, además de exhibir tamaños heterogéneos que iban desde pequeños hasta grandes. En cuanto a los compuestos bioactivos, el contenido de fenoles totales se situó entre 1.23 y 3.24 mg equivalentes de ácido gálico/g, mientras que los flavonoles variaron de 0.47 a 2.55 mg equivalentes de quercetina/g, observándose entre ambos una correlación elevada ( $r = 0.910$ ).

Por otro lado, el nivel de betalaínas (0.15–6.10 mg/100 g) se relacionó de manera positiva tanto con los fenoles totales ( $r = 0.703$ ) como con los flavonoles ( $r = 0.718$ ), aunque presentó una correlación negativa con el parámetro de color L ( $r = -0.569$ ). La relación betaxantinas/betacianinas (0.0–1.41) también mostró asociación inversa con dicho parámetro ( $r = -0.744$ ). En relación con la TAC, los valores más altos (119.8–335.9 mmol equivalentes de Trolox/kg) evidenciaron correlación negativa con L ( $r = -0.779$ ), pero positiva con el contenido de betalaínas ( $r = 0.730$ ), fenoles libres ( $r = 0.639$ ), fenoles unidos ( $r = 0.558$ ) y fenoles totales ( $r = 0.676$ ). Estos resultados respaldan que la quinua de color constituye una fuente potencialmente valiosa de betalaínas y compuestos fenólicos, con una elevada capacidad antioxidante.

Valencia, Ccapa, Catacora y Quispe (2017) llevaron a cabo un estudio orientado a determinar la presencia de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en 24 accesiones de quinua peruana (*Chenopodium quinoa* W.) pertenecientes a la colección nacional del INIA. Los análisis revelaron que el contenido de fenoles totales osciló entre 0,783 y 3,437 mg GAE/g, mientras que los flavonoides fluctuaron de 0,199 a 1,029 mg CE/g de muestra. En cuanto a pigmentos, las



concentraciones de betacianinas y betaxantinas resultaron poco significativas. Asimismo, los azúcares reductores variaron en un rango de 30,973 a 88,278 mg equivalentes de glucosa/g de muestra. Finalmente, la evaluación de la capacidad antioxidante mediante los métodos DPPH y ABTS mostró diferencias significativas entre las accesiones analizadas, confirmando la heterogeneidad funcional existente en las semillas de quinua estudiadas.

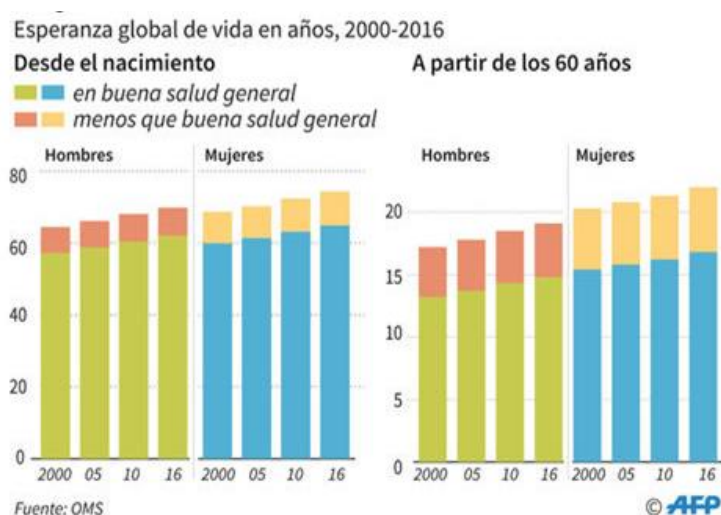
En relación a la aplicación de cereales germinados en el sector panificación, Choquehuanca (2015) desarrolló un estudio orientado a evaluar la demanda y la aceptabilidad de galletas recubiertas con chocolate elaboradas con harina de cañihua germinada (40% de var. Cupi). Cuya investigación se ejecutó en tres ciudades del sur Peruano, evidenciando que la mayor demanda se concentró en Cusco, seguida de Juliaca y finalmente Arequipa, destacando que los consumidores con ingresos inferiores a S/. 420.00 fueron los principales compradores, a pesar de disponer de menores recursos en comparación con otros grupos. Asimismo, se determinó un precio estimado de S/. 0.50 por paquete, el cual fue bien aceptado por el 97% de los encuestados, quienes señalaron una frecuencia de consumo semanal. Además, el producto fue valorado positivamente por su aporte nutricional frente a alternativas similares, obteniendo un nivel de aceptabilidad elevado con puntuaciones que oscilaron entre 4.21 y 4.45 en una escala hedónica de cinco puntos.

En lo referente a la formulación y procesamiento de galletas, se tomará como referencia el estudio desarrollado por Salvatierra, Azorza y Paucar-Menacho (2019), quienes tuvieron como propósito analizar el impacto del enriquecimiento de cookies mediante la incorporación de aceite de tarwi (X1) y semillas de chía (X2) sobre sus propiedades tecnológicas y sensoriales, mediante un diseño central compuesto rotacional (DCCR) dentro de la metodología de superficie de respuesta, orientado a la optimización de procesos. Los resultados mostraron que X1 mejora el color y dureza, mientras que los ácidos grasos Omega 6 y 3, y fracturabilidad tuvieron influencia significativa por ambos factores (X1, X2). En cuanto a la evaluación sensorial, las cookies con mayor X1 presentaron mayor puntuación. La formulación óptima fue F3 (12% X1 y 3% X2) con 7,72 % de omega 3; 37,54% de omega 6; y aceptabilidad de 6,58 en una escala de 7 puntos. Estudios ya demuestran la posibilidad de producir galletas a partir de granos germinados como la investigación realizada por Crivelenti, Brites, Paucar,

Schmiele y Clerici (2012), este trabajo propició la incorporación de un alimento funcional como la soya para desarrollar galletas tipo cookie con concentraciones variadas de harina de soya germinada (HSG). Los resultados mostraron que las galletas al final del estudio presentaron diferencias significativas en relación a la muestra estándar, así mismo en cuanto a la evaluación sensorial de preferencia fueron aceptadas por el consumidor hasta con una sustitución del 10%, sumado a ello se evidenció un mayor contenido de proteínas, lípidos, humedad y cenizas, demostrando los beneficios de la germinación.

## 2.2. Fundamentos teóricos de la investigación

De acuerdo con un informe de la OMS (2019), la expectativa de vida a nivel global se ha incrementado en 5,5 años desde inicios del presente siglo. El reporte *Panorama Estadístico de la Salud Mundial 2019* señala que, entre los años 2000 y 2016, la esperanza de vida promedio pasó de 66,5 a 72 años, mientras que la expectativa de vida saludable aumentó de 58,5 a 63,3 años. Este progreso, aunque representa un logro significativo, también refleja el fenómeno del envejecimiento poblacional, es decir, el incremento proporcional de los adultos mayores dentro de la población mundial. En este contexto, surge la necesidad de promover condiciones que aseguren a este grupo etario una adecuada calidad de vida, sustentada tanto en la salud física como en el bienestar mental.



Además, se ha identificado el crecimiento del 1.3% anual de enfermedades degenerativas causadas por el estrés oxidativo (MINSA, 2017), esta última denominación, corresponde a una forma específica de estrés químico que se genera

cuando en los organismos vivos se acumulan en exceso radicales libres y otras especies reactivas de oxígeno. Esta condición se ha vinculado con la aparición de diversas patologías, entre ellas enfermedades cardiovasculares, ciertos tipos de cáncer, diabetes y trastornos neurodegenerativos como el Alzheimer y el Parkinson. Dichas alteraciones suelen estar asociadas, además, a deficiencias nutricionales y a desequilibrios en la dieta habitual.

En este escenario, es necesario que la ingesta de alimentos asegure una alimentación saludable, las cuales cumplan con ciertas características (Mariño, Núñez y Gámez, 2015): i) *ser completa*: estos alimentos deben contener todos los micro y micronutrientes (Proteínas, grasa, carbohidratos, vitaminas y minerales), agua, fibra y compuestos bioactivos. ii) *Equilibrada*: contener las proporciones idóneas de los distintos grupos de alimentos, ya que al ser combinados van a aportar la energía y nutrientes necesarios para promover el crecimiento y salud del consumidor. Proteínas: 10 a 15% de la energía diaria total. iii) *Suficiente*: Con una cantidad de nutrientes adecuada para el crecimiento y mantenimiento del peso saludable en todos los grupos etarios. iv) *Adecuada*: Versátil a todos los gustos, preferencias, costos y hábitos alimentarios de las personas. v) *Inocua*: Donde sus componentes no signifiquen un riesgo para la salud.

La alimentación saludable se define como aquella que es variada, compuesta preferentemente por productos en su estado natural o sometidos a un procesamiento mínimo, capaz de aportar la energía y los nutrientes esenciales que cada persona requiere para conservar la salud y garantizar una adecuada calidad de vida en todas las etapas (Ley N.º 30021, 2013). En concordancia, la OMS lo define como una dieta saludable debe garantizar la provisión equilibrada de macro y micronutrientes que permitan sostener la energía diaria y preservar un adecuado estado de salud en la población.

En el caso del Perú, particularmente en las comunidades andinas, la dieta tradicional se basa en el consumo de vegetales, con predominio de tubérculos como la papa, la oca y la mashua. Estos aseguran la ingesta de carbohidratos, aunque no cubren de manera suficiente el aporte de aminoácidos esenciales. Por ello, resulta indispensable incorporar alimentos que ayuden a equilibrar la dieta. Cabe señalar que, además de nutrientes, los alimentos contienen compuestos no nutritivos denominados fitoquímicos o sustancias bioactivas, los cuales, si bien no cumplen

una función nutricional clásica, tienen efectos relevantes en el metabolismo y pueden influir en el desarrollo o prevención de enfermedades (Plasencia, 2016). En este sentido, los granos andinos como la quinua y la kiwicha, considerados pseudocereales, destacan por su riqueza en lisina y metionina, aminoácidos que permiten compensar las deficiencias propias de los tubérculos (Ayala, 2004). Dichos componentes actúan sobre la actividad celular y los mecanismos fisiológicos, generando beneficios directos en la salud humana.

La quinua (*Chenopodium quinoa var. Pasankalla*), originaria de la zona andina sur de Perú y Bolivia, se puede encontrar en las regiones semiáridas más altas; muestra resistencia a climas rigurosos con presencia de heladas, sequías y bajas temperaturas. Posiblemente, sea el cultivo de grano que tenga mayor resistencia a las bajas temperaturas con una extraordinaria adaptabilidad a diferentes pisos agroecológicos. Puede crecer con humedades relativas desde 40 – 88%, y soporta temperaturas desde -4 - 38°C. La quinua se caracteriza por ser un cultivo eficiente en el uso del agua, con alta tolerancia a la sequía y capacidad de mantener rendimientos aceptables incluso bajo precipitaciones anuales entre 100 y 200 mm (FAO, 2011). En el Perú, su cultivo es particularmente intensivo en el altiplano, donde la región de Puno concentra más del 70% de la producción nacional. Además, otras zonas relevantes para su siembra son Ayacucho, Cusco, Junín y Arequipa; en esta última, se ha fomentado la producción en los valles de Majes y Pedregal, utilizando variedades precoces que muestran buenos rendimientos (MINAGRI, 2015, citado por Rosas, 2015).

La quinua, considerada un cultivo ancestral de los Andes, ha sido ampliamente estudiada, sobre todo por su aporte proteico y sus propiedades funcionales. De acuerdo con Miranda, citado por Sánchez (2019), este grano puede aprovecharse en diversas presentaciones, ya sea como harina, en la elaboración de jugos, bizcochos y galletas, mientras que sus hojas, por su elevado contenido de proteínas, pueden consumirse en ensaladas.





Figura 2. Granos andinos de Quinoa (*Chenopodium quinoa*)

Fuente: (Repo-Carrasco, 2011)

La quinua presenta una amplia diversidad de variedades; sin embargo, en esta investigación se trabajó con la **variedad PASANKALLA – INIA 415**, liberada en 2006 tras un proceso de selección de ecotipos provenientes de Caritamaya, en el distrito de Ácora, provincia de Puno. El mejoramiento de esta variedad se llevó a cabo entre los años 2000 y 2005 en la Estación Experimental Agraria Illpa-Puno, bajo la conducción del Programa Nacional de Investigación en Cultivos Andinos. Su adaptación óptima se da en la zona agroecológica *suní* del altiplano, entre los 3800 y 3900 m.s.n.m., donde tolera condiciones de clima frío y seco. Destaca por su elevado potencial de rendimiento, estimado en 4.5 t/ha, lo que la convierte en una variedad favorable para la agroindustria (Apaza et al., 2013).

La kiwicha (*Amaranthus caudatus*) es una especie del género *Amaranthus* que fue domesticada desde tiempos milenarios en los Andes y en Mesoamérica, y actualmente se cultiva ampliamente en el Perú. Gracias a diversas investigaciones, este grano ha recuperado importancia, lo que ha impulsado su conservación en estaciones experimentales ubicadas en regiones como Cusco, Cajamarca, Huánuco y Lima. Su cultivo se extiende en la costa, sierra y selva alta, desde el nivel del mar hasta los 3400 msnm, destacando los buenos resultados obtenidos en el valle interandino de Urubamba – Cusco. Las principales zonas productoras del país incluyen Junín, La Libertad, Cajamarca, Cusco, Arequipa, Áncash y Huancavelica. Históricamente, la kiwicha fue cultivada en la época incaica y por culturas preincaicas, siendo valorada por su diversidad de colores de semilla, que van desde

el negro hasta el rojo, aunque predomina el blanco o marfil. A nivel internacional, este pseudocereal ha cobrado relevancia como complemento de cereales y leguminosas, gracias a su notable valor nutricional, llegando incluso a reemplazar la leche en polvo en algunos programas alimentarios.



Figura 3. Granos andinos de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*)

Fuente: (Repo-Carrasco, 2011)

### Composición nutricional de la quinua y kiwicha

El cultivo de la quinua destaca principalmente por su elevado **valor nutricional**. El contenido proteico de este pseudocereal fluctúa entre 13,81 y 21,9%, según la variedad considerada. Gracias a la presencia de todos los aminoácidos esenciales en proporciones cercanas a los estándares establecidos por la FAO, se le reconoce como el único alimento vegetal con un perfil proteico completo. Risi (1991), citado en Pezúa (2015), señala que el balance de aminoácidos esenciales de la quinua supera al observado en trigo, cebada y soya, equiparándose incluso al de la proteína láctea.

Tanto la quinua como la kiwicha contienen cantidades importantes de aminoácidos azufrados y un perfil de primera calidad, resaltando por su riqueza en lisina, isoleucina y triptófano. Esta calidad proteica, sumada a un aporte aproximado de 60% de carbohidratos y cerca del 8% de aceites vegetales, las convierte en alimentos altamente nutritivos. En el caso específico de la kiwicha, se distingue por su elevado contenido de lisina y proteínas de gran valor biológico, así como por la presencia de aceites con propiedades nutricionales favorables. Además, ambos pseudocereales son fuentes destacadas de micronutrientes esenciales como calcio e hierro.

**Tabla 1.** Composición próxima de cereales y granos andinos (g/100g m.s.)

<b>Especie</b>	<b>Proteínas</b>	<b>Grasa</b>	<b>Fibra cruda</b>	<b>Cenizas</b>	<b>Carbohidratos</b>
<b>Trigo</b>	10,5	2,6	2,5	1,8	78,6
<b>Cebada</b>	11,8	1,8	5,3	3,1	78,1
<b>Avena</b>	11,6	5,2	10,4	2,9	69,8
<b>Centeno</b>	13,4	1,8	2,6	2,1	80,1
<b>Triticale</b>	14	1,7	2,6	2	78,7
<b>Arroz</b>	9,1	2,2	10,2	7,2	71,2
<b>Maíz</b>	11,1	4,9	2,1	1,7	80,2
<b>Sorgo</b>	12,4	3,6	2,7	1,7	79,7
<b>Quinoa</b>	14,4	6	4	2,9	72,6
<b>Kañiwa</b>	18,8	7,6	6,1	4,1	63,4
<b>Kiwicha</b>	14,5	6,4	5	2,6	71,5

Fuente: Repo-Carrasco, 2009 citado por Apaza, 2010

Por otro lado, un número creciente de trabajos científicos considera a los granos de pseudocereales una fuente importante de compuestos bioactivos de gran beneficio para la salud debido a su papel potencial en la reducción del riesgo de desarrollar enfermedades crónicas (Makowski, Rosicka-kaczmarek, & Nebesny, 2015). Los compuestos fenólicos son los compuestos bioactivos más abundantes de las semillas de quinoa, cañihua y kiwicha. Estos compuestos se encuentran localizados principalmente en las capas externas del grano funcionando como defensa química contra insectos y microorganismos (Tang & Tasao, 2017).

**Tabla 2.**

Contenido de aminoácidos en granos andinos (mg de aa/16gr de nitrógeno)

<b>Aminoácido</b>	<b>Quinoa</b>	<b>Kañiwa</b>	<b>Kiwicha</b>	<b>Arroz</b>	<b>Trigo</b>
<b>Ácido aspártico</b>	7,8	7,9	7,4	8	4,7
<b>Treonina</b>	3,4	3,3	3,3	3,2	2,9
<b>Serina</b>	3,9	3,9	5	4,5	4,6
<b>Ácido glutámico</b>	13,2	13,6	15,6	16,9	31,3
<b>Prolina</b>	3,4	3,2	3,4	4	10,4
<b>Glicina</b>	5	5,2	7,4	4,1	6,1
<b>Alanina</b>	4,1	4,1	3,6	5,2	3,5
<b>Valina</b>	4,2	4,2	3,8	5,1	4,6
<b>Isoleucina</b>	3,4	3,4	3,2	3,5	4,3
<b>Leucina</b>	6,1	6,1	5,4	7,5	6,1
<b>Tirosina</b>	2,5	2,3	2,7	2,6	3,7
<b>Fenilalanina</b>	3,7	3,7	3,7	4,8	4,9
<b>Lisina</b>	5,6	5,3	6	3,2	2,8
<b>Histidina</b>	2,7	2,7	2,4	2,2	2
<b>Arginina</b>	8,1	8,3	8,2	6,3	4,8
<b>Metionina</b>	3,1	3	3,8	3,6	1,3
<b>Cistina</b>	1,7	1,6	2,3	25	2,2
<b>Triptófano</b>	1,1	0,9	1,1	1,1	1,2
<b>% de N del grano</b>	2,05	2,51	2,15	1,52	2,24
<b>% de proteína</b>	12,8	15,7	13,4	9,5	14

Fuente: Repo-Carrasco, 2009 citado por Apaza, 2010

Sin embargo, todos estos aportes nutricionales y no nutricionales de los granos andinos (quinua - kiwicha) o pseudocereales se ven afectados dada la necesidad de ser procesados previamente para su consumo, con el fin de hacerlos comestibles y más digeribles. Los procesos tecnológicos tan sencillos pero necesarios como el remojo y la cocción, forman parte de la preparación culinaria y es lo que mejora la palatabilidad, aceptabilidad y propiedades nutricionales. Por otro lado, los granos andinos (pseudocereales) como la quinua y la kiwicha pueden sufrir una transformación tecnológica primaria para obtener harina, semolinas, tapioca, salvado, etc a través de procesos de molienda en seco o en húmedo; ingredientes que luego van hacer empelados como ingredientes en la elaboración de productos industriales (pan, pasta, galletas, etc) que encontraron una oportunidad de mercado, que al no contener gluten son aptos para las personas diagnosticadas con enfermedad celíaca y alimentación infantil (Repo-Carrasco, Valencia, Hellström, Pihlava, Mattila, 2010). Son numerosas las publicaciones científicas de estudios in vitro e in vivo que demuestran las propiedades antioxidantes, antiinflamatorias



y otros efectos saludables como la promoción de la salud intestinal de los compuestos fenólicos (Ozidal et al., 2016; Jenner et al., 2005; Tang et al., 2015)

### **Compuestos bioactivos de granos andinos**

Los compuestos bioactivos se entienden como aquellos constituyentes presentes en los alimentos que, una vez ingeridos, ejercen efectos sobre procesos celulares o funciones fisiológicas tanto en el ser humano como en los animales. En el caso de los pseudocereales, sus principales compuestos bioactivos han sido revisados en los últimos años e incluyen a los compuestos fenólicos, betalainas, fitosteroles, saponinas, fitatos, fitoecdisteroides, ácidos grasos, tocoferoles, tocotrienoles y carotenoides, los cuales cumplen un papel destacado en la calidad nutricional y funcional de estos granos (Tang & Tsao, 2017).

En particular, los compuestos fenólicos se caracterizan por poseer al menos un grupo fenol y un anillo aromático, además de contener uno o varios grupos hidroxilos. Su clasificación suele realizarse según el número y la disposición de los átomos de carbono, dividiéndose en dos grandes grupos: los flavonoides —donde se encuentran los flavonoles, flavonas, flavan-3-oles, antocianidinas, flavanonas e isoflavonas— y los no flavonoides, que incluyen a los ácidos fenólicos, los ácidos hidroxicinámicos y los estilbenos. Estos compuestos pueden presentarse en estado libre, como agliconas, o bien conjugados con azúcares y ácidos orgánicos (Crozier et al., 2006; Cartea et al., 2011). Asimismo, pueden encontrarse asociados a polisacáridos de la pared celular y proteínas mediante enlaces de tipo éster o éter, lo que influye en su disponibilidad y funcionalidad (Acosta-Estrada, Gutiérrez-Uribe, & Serna-Saldívar, 2014).

El perfil y la cantidad de compuestos fenólicos en pseudocereales como quinua, cañihua y kiwicha dependen en gran medida del genotipo y de las condiciones ambientales durante el cultivo (Abderrahim et al., 2015; Tang et al., 2015). Dentro de estas especies andinas, la quinua sobresale por presentar los niveles más elevados de compuestos fenólicos (Valencia, Ccapa, Catacora & Quispe, 2017; Repo-Carrasco, Valencia et al., 2010). Se ha identificado que la mayor parte de los polifenoles en este grano se localizan en su fracción libre, alcanzando valores entre 167,15 y 308,3 mg equivalentes de ácido gálico/100 g de muestra (Han et al., 2019), lo que representa entre el 53,5% y 78% del contenido total. Dentro de esta fracción, los ácidos gálico y ferúlico son los más representativos (Han et al., 2019). Los flavonoides constituyen el segundo grupo fenólico más relevante, destacando derivados de rutina, quercetina y kaempferol, mayormente en la fracción libre (Rochetti et al., 2019; Han et al., 2019). Los compuestos fenólicos unidos aparecen en

menor proporción, siendo el ácido ferúlico el predominante (Gómez-Caravaca et al., 2011; Tang et al., 2015; Han et al., 2019; Rochetti et al., 2019). Asimismo, las variedades pigmentadas de quinua contienen antocianinas, predominando los glucósidos de cianidina como compuestos principales (Rochetti et al., 2019).

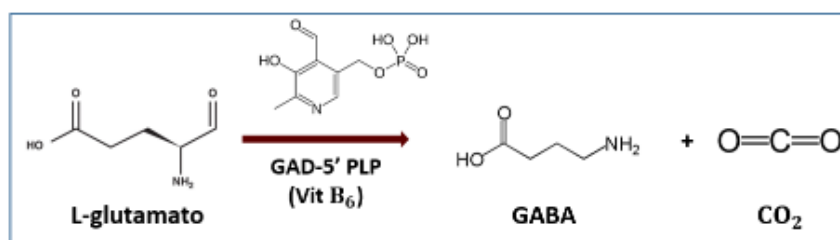
En el caso de la kiwicha, su contenido fenólico total es más reducido, con valores que van de 21,2 a 57,0 mg equivalentes de ácido gálico/100 g (Alvarez-Jubete et al., 2010a; Rochetti et al., 2017; Rochetti et al., 2019). La fracción fenólica en los granos de *Amaranthus* se caracteriza principalmente por la presencia de ácidos fenólicos, destacando el ácido ferúlico, seguido de flavonoides y otros polifenoles como sesamina, tirosol y cardol (Rochetti et al., 2017, 2019). En variedades no pigmentadas, los glucósidos de quercetina son los flavonoides dominantes (Paucar-Menacho et al., 2018; Rochetti et al., 2017), mientras que en las pigmentadas predominan los glucósidos de cianidina (Rochetti et al., 2019).

Los compuestos fenólicos de estos pseudocereales ejercen actividad antioxidante tanto de manera directa como indirecta. En el primer caso, actúan donando átomos de hidrógeno a radicales libres como superóxido o peróxido, lo que previene la oxidación de lípidos y otras biomoléculas, además de quelar iones metálicos (Repo-Carrasco Valencia et al., 2017; Abderrahim et al., 2015; Tang et al., 2015). En el segundo mecanismo, favorecen la activación y expresión de enzimas antioxidantes implicadas en la detoxificación celular, tales como superóxido dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa, glutatión S-transferasa y NADPH quinona oxidoreductasa 1 (Drzikova-Kostova et al., 2007).

### **Acido gamma-aminobutírico (GABA)**

Los **pseudocereales andinos** contienen también cantidades moderadas de ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA), un aminoácido libre, no proteico, conformado por una cadena de cuatro átomos de carbono. Su síntesis ocurre mediante la descarboxilación irreversible del ácido glutámico, reacción que es catalizada por la enzima glutamato descarboxilasa (GAD). En el caso particular de la quinua y la kiwicha, se han reportado concentraciones de GABA de 22,41 y 2,6 mg/100 g, respectivamente (Paucar-Menacho et al., 2017; 2018). En las plantas, este compuesto cumple funciones clave en el crecimiento y en la defensa frente al ataque de insectos fitófagos. No obstante, el interés en el GABA se ha intensificado especialmente en el campo de la nutrición y los alimentos funcionales, debido a sus reconocidos beneficios en la salud humana. Entre estos destacan sus propiedades antihipertensivas (Yoshimura, 2010), su papel en la mejora de las funciones

cognitivas (Wu et al., 2012; Diana et al., 2014) y su capacidad para inhibir la proliferación de células cancerígenas (Oh & Oh, 2004).



**Figura 4.** Síntesis de GABA por la enzima glutamato descarboxilasa (GAD)

Fuente: (Xu y col., 2010).

### Proceso de germinación de semillas

Ahora bien, un método para aprovechar el valor nutricional existente en los granos andinos o pseudocereales es la germinación. La germinación es simple y de bajo costo, y mejora la palatabilidad, la digestibilidad y la disponibilidad de ciertos nutrientes (López-Martínez, Leyva-López, Gutiérrez-Grijalva, & Heredia, 2017). En los últimos años, el proceso de germinación está adquiriendo una atención especial por su impacto positivo en la calidad nutricional de granos andinos. La germinación reactiva el metabolismo de la semilla aumentando el contenido y digestibilidad de los macronutrientes y compuestos bioactivos con beneficios para la salud así como reduciendo ciertos compuestos antinutritivos. La germinación de granos es un proceso simple y económico; no obstante, es necesaria la optimización de parámetros cruciales como el tiempo, la temperatura, la humedad, el fotoperíodo, etc; a fin de maximizar la calidad nutricional de los granos germinados.

El mayor contenido y biodisponibilidad de compuestos bioactivos en los granos germinados ha sido con frecuencia extrapolado a la mejora de su potencial beneficio en la salud. Sin embargo, el resultado de los estudios clínicos para apoyar declaraciones específicas de beneficios en salud es escasa. Aunque un número limitado de estudios *in vitro* e *in vivo* en animales de experimentación han demostrado que los granos germinados pueden tener un efecto beneficioso en niveles de colesterol y glucosa en la sangre, presión arterial y minerales absorción son pocos los estudios de intervención humana disponibles.

Para que una semilla logre germinar, es indispensable que se cumplan determinadas condiciones ambientales favorables. Entre ellas destacan la disponibilidad adecuada de agua, una temperatura óptima para iniciar el proceso, una composición gaseosa adecuada en el ambiente, la presencia de luz y la ausencia de compuestos inhibidores de la germinación. Dentro de estos factores, la cantidad de agua absorbida durante la imbibición y la temperatura de germinación se reconocen como los elementos más determinantes para que el proceso ocurra de manera exitosa.

La germinación de granos induce modificaciones notables en su composición química, hecho que ha sido documentado en investigaciones con kiwicha, donde la optimización de las condiciones permitió incrementar el contenido de proteínas, la fibra dietética total, los compuestos fenólicos libres y ligados, así como la capacidad de neutralización de radicales libres (Pasko et al., 2009; Perales-Sánchez et al., 2014). Asimismo, otros estudios confirman que la germinación en cereales y pseudocereales como la quinua genera un aumento significativo en los niveles de ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA), compuesto que contribuye con efectos fisiológicos beneficiosos in vivo, tales como la regulación de la presión arterial y de la frecuencia cardíaca (Morita, Park, & Maeda, 2013; Zhang et al., 2014; Bravo et al., 2013).

De manera general, la germinación de los granos puede dividirse en tres fases sucesivas. La **primera etapa**, desde el punto de vista fisiológico, se caracteriza por un aumento marcado de la actividad respiratoria, lo cual asegura la disponibilidad de energía necesaria para iniciar las reacciones metabólicas. Este proceso suele comenzar cuando la semilla alcanza niveles de humedad entre 14 y 16%. En el plano bioquímico, esta fase se distingue por la degradación inicial de los compuestos de reserva —carbohidratos, proteínas y lípidos— que servirán de soporte al desarrollo del eje embrionario.

La **segunda fase** se prolonga de 8 a 10 veces más que la primera y se distingue por un transporte activo de los productos desdoblados previamente. Durante este período, la tasa respiratoria de la semilla disminuye de manera significativa.

En la **tercera etapa** se evidencia el crecimiento visible del eje embrionario, conocido como brote. En esta fase, los nutrientes degradados en la primera etapa y movilizados en la segunda son reorganizados en moléculas más complejas que

integran estructuras como el citoplasma, protoplasma y paredes celulares, posibilitando así el crecimiento embrionario.

Es importante señalar que estas fases no son excluyentes entre sí, por lo que, al iniciarse la tercera, aún pueden coexistir procesos característicos de las etapas anteriores. Entre las enzimas que se generan y activan durante la germinación destacan las **amilasas, hemicelulasas y proteasas** (Román, 2000).



**Figura 5.** Etapas de la germinación de granos

Fuente: (Paucar-Menacho, 2018)

Paucar-Menacho et al. (2018) reportaron que las condiciones óptimas para maximizar el contenido total de polifenoles (TPC) y la actividad antioxidante en quinua germinada correspondieron a 20 °C durante 42 horas. En un trabajo posterior, Paucar-Menacho et al. (2017) observaron que, bajo condiciones de 26 °C y 63 horas de germinación en kiwicha, se alcanzaron incrementos significativos en ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA), polifenoles totales y capacidad antioxidante, con aumentos de 29,1; 4,0 y 6,4 veces, respectivamente.

De manera similar, Abderrahim et al. (2012) determinaron que, en cañihua germinada, las condiciones óptimas eran 20 °C durante 72 horas, alcanzando así una maximización tanto en el contenido de polifenoles totales como en la actividad



antioxidante. En conjunto, estos resultados evidencian que la germinación de granos andinos representa una estrategia eficaz para potenciar de manera natural la calidad nutricional y funcional de estos pseudocereales, lo que refuerza su valor en la salud humana.

El uso de granos andinos germinados en la elaboración de insumos intermedios destinados a nuevos alimentos ha sido explorado en diversos estudios. La incorporación de estos granos en productos de panificación no solo eleva la calidad nutricional, sino que también permite obtener alimentos con alta actividad biológica, mayor estabilidad y un perfil nutricional enriquecido (Singh & Sharma, 2017; Malleshi & Klopfenstein, 2000). Durante este proceso, se generan compuestos bioactivos con efectos promotores de la salud que, además, pueden sustituir parcialmente las fuentes proteicas provenientes del trigo (Afify et al., 2012b; Singh & Sharma, 2017).

La germinación, por lo tanto, ofrece nuevas oportunidades para potenciar el valor nutricional y mejorar la salud a través de alimentos enriquecidos con las propiedades de estos pseudocereales. Se ha documentado que granos andinos como la quinua y la kiwicha poseen un valor biológico y nutricional sobresaliente (Repo-Carrasco-Valencia, Hellström, Pihlava, & Mattila, 2010), lo cual permite compensar deficiencias en el consumo de proteínas de origen animal (Berganza et al., 2003; Repo-Carrasco et al., 2003) y minerales como calcio e hierro (Bressani, 1994). Además, la germinación se presenta como una técnica sencilla y de bajo costo que favorece la palatabilidad, la digestibilidad y la biodisponibilidad de determinados nutrientes (López-Martínez, Leyva-López, Gutiérrez-Grijalva, & Heredia, 2017). En el caso de granos como la quinua y la kiwicha, la optimización de este proceso ha permitido demostrar cambios significativos en su composición, potenciando sus cualidades nutricionales y funcionales.

Se aumenta el contenido de proteínas, fibra dietética total, compuestos fenólicos libres y unidos, así como la actividad de búsqueda de radicales libres (Pasko et al., 2009; Perales-Sánchez et al., 2014). Diversas investigaciones han señalado que la germinación en cereales y pseudocereales, como la quinua, favorece el incremento en los niveles de GABA. Este compuesto ejerce efectos fisiológicos positivos in vivo, entre los que se destacan la regulación de la presión arterial y el control de la frecuencia cardíaca, lo que refuerza su importancia como componente funcional en la dieta (Morita, Park, & Maeda, 2013; Zhang et al., 2014; Bravo et al., 2013).

Asimismo, la incorporación de granos germinados en la formulación de productos de panificación constituye una estrategia eficaz para mejorar la calidad nutricional, obtener alimentos con mayor valor biológico y lograr una mayor estabilidad en el producto final (Singh & Sharma, 2017). Estas harinas resultan particularmente apropiadas para la elaboración de alimentos especiales y de valor agregado (Malleshi & Klopfenstein, 2000). Durante el proceso de germinación, se generan compuestos bioactivos con efectos benéficos sobre la salud, lo que abre la posibilidad de utilizar estos granos como sustitutos parciales de la proteína del trigo en la industria alimentaria (Afify et al., 2012b; Singh & Sharma, 2017).

Una vez concluida la germinación, se procede con la etapa de secado (Meyhuay, 2015). En esta operación, los granos previamente germinados se someten a una fuente de calor hasta alcanzar un contenido de humedad entre 12% y 14%, rango que evita el inicio de procesos de fermentación que podrían deteriorar la calidad del producto. El secado puede realizarse de dos formas. La primera corresponde al método natural, en el cual los granos son dispuestos en capas delgadas y expuestos a la radiación solar por un periodo no mayor a 15 días. Para que esta operación tenga éxito, es fundamental monitorear la humedad relativa del ambiente, dado que este parámetro incide directamente en la eficiencia del proceso. El secado natural se recomienda cuando los volúmenes de materia prima son reducidos o cuando las condiciones climáticas son favorables. La segunda modalidad es el secado artificial, empleado en situaciones donde el clima no es apropiado o cuando se requiere procesar grandes volúmenes de grano.

El secado artificial consiste en introducir los granos germinados en una corriente de aire previamente calentado. Para ello se emplean secadores discontinuos o continuos, diferenciándose en que los primeros tienen una menor capacidad de producción, pero también un costo más bajo en comparación con los segundos (Mamani, 2017). En cuanto a las condiciones operativas, se puede trabajar a una temperatura de 60 °C durante un periodo aproximado de 12 horas. Una vez finalizado el secado, los granos se someten a una molienda, proceso que implica la trituration hasta obtener una harina integral con textura fina y características ligeramente polvosas. En esta etapa, resulta esencial controlar parámetros como la granulometría, que no debe superar los 130  $\mu\text{m}$ , a fin de garantizar la calidad del producto (Baidakova & Orlova, 2017).

La granulometría es un factor determinante en la funcionalidad de las harinas. Estudios previos han evidenciado que a menor tamaño de partícula —como ocurre en la molienda ultrafina— se incrementa la capacidad antioxidante de la harina, lo cual refleja una correlación positiva entre la reducción del tamaño de partícula, el aumento de la superficie específica y la mejora en la actividad antioxidante (Rosa, Barron, Gaiani, Dufour, & Micard, 2013). Para lograr partículas ultrafinas se emplean molinos de bolas o de rodillos, equipos que aseguran una mayor eficiencia en la reducción física del tamaño de grano. Posteriormente, la harina obtenida se somete a un tamizado, con el objetivo de eliminar las partículas gruesas remanentes y garantizar la homogeneidad en el tamaño final (Olivares & Ricaldi, 2013). Finalmente, la harina debe ser envasada de forma adecuada para protegerla de la humedad y otros factores externos. De este modo, las harinas de quinua y kiwicha germinadas quedan listas para ser utilizadas como materia prima en la elaboración de productos con alto contenido de compuestos bioactivos. En las Figuras 7 y 8 se ilustra el diagrama de bloques del proceso de obtención de estas harinas.

Se está realizando estudios para aumentar las propiedades nutricionales de productos de panificación enriqueciendo la harina de pan con componentes funcionales. Una tendencia interesante es la suplementación de pan de trigo con harina de cereales germinados y pseudocereales (Dziki, Różyło, Gawlik-Dziki & Świeca, 2014). Gawlik-Dziki, Dziki, Pietrzak, & Nowak, (2017) elaboraron pan, sustituyeron la harina de trigo con harina de trigo germinada, la adición de esta harina permitió enriquecer significativamente el pan con compuestos fenólicos especialmente los ácidos vanílico, siríngico, p-cumarico, t-ferúlico y t-sinapico, así como de fitoquímicos capaces de prevenir los lípidos contra la oxidación; además, los compuestos bioactivos contenidos en la harina germinada son termoestables y potencialmente bioaccesibles. Onyeka, & Obeleagu (2013) emplearon una mezcla de granos germinados los cuales incluyeron trigo (*Triticum aestivum*), maíz (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum vulgare*), mijo (*Eleusine caracana*), lentejas (*Digitaria excelsis staph*), soja (*Glycine max*) y semillas de sésamo (*Sesamum indicum L*), concluyendo que la germinación de granos es una opción viable para mejorar el valor nutricional del pan hecho tradicionalmente.

Las galletas se caracterizan por ser productos de bajo volumen específico y, para su elaboración, suelen emplearse trigos blandos que presentan un menor contenido de proteína en comparación con los utilizados en panificación, donde el gluten cumple

un rol determinante al influir en el volumen final. En este contexto, Aviles (2019) evaluó la calidad proteica de galletas elaboradas con harina de quinua negra (*Chenopodium petiolare* Kunth) germinada, mediante pruebas biológicas como la razón proteínica neta y la digestibilidad aparente. Los resultados mostraron un incremento del 34,93% en la retención de proteína neta y del 5,78% en la digestibilidad aparente cuando se incorporó un 30% de sustitución en la formulación.

En lo referente al análisis reológico de las masas, este se entiende como el estudio de la deformación y las características de flujo de los materiales, siendo en términos generales el campo que analiza la viscosidad de los fluidos. Entre las propiedades que pueden evaluarse mediante pruebas reológicas se encuentran la viscosidad, el esfuerzo cortante y el comportamiento viscoelástico (Quintana, 2016). Para conocer el comportamiento reológico de las masas, es fundamental seleccionar técnicas de medición adecuadas, las cuales pueden clasificarse en métodos fundamentales o empíricos. Los métodos empíricos, como el farinógrafo, el amilógrafo y el extensógrafo, proporcionan información práctica y valiosa para las industrias panadera y molinera (Rodríguez et al., 2005). En particular, Ferreras (2009) explica que el amilógrafo permite registrar de manera continua la resistencia que presenta una suspensión harina-agua frente a la agitación, mientras la temperatura se incrementa a una velocidad constante de 1,5 °C por minuto, desde 25 °C hasta alcanzar los 95 °C. De esta forma se detectan los cambios de viscosidad del producto después de la gelatinización (a los 60°C) del almidón, detectándose los cambios siguientes: pérdida de birrefringencia, hinchamiento irreversible de los gránulos, liberación de amilosa, aumento rápido de la viscosidad. De acuerdo con Feldman et al. (2011), citados por Salazar (2015), este tipo de análisis ofrece información valiosa sobre la calidad del almidón y el contenido enzimático de una harina. Asimismo, permite evaluar las características de horneado y el comportamiento de la harina durante el proceso, lo que facilita anticipar aspectos como la estructura de la miga, la necesidad de incorporar aditivos mejoradores y la posible vida útil del producto final.

Por su parte, el extensógrafo es un instrumento diseñado para medir la estabilidad de la masa y la resistencia que esta opone durante el periodo de reposo. Se emplea principalmente en trigos blandos y resulta especialmente útil para examinar la acción de ciertos agentes mejoradores, como el ácido ascórbico (Álvarez, 2011).

Los parámetros principales obtenidos de la curva extensográfica incluyen: la resistencia R, que corresponde a la altura del extensograma en un punto de base situado a 5 cm del inicio de la curva; la resistencia R1, equivalente a la altura máxima; la extensibilidad E, que refleja la longitud de la base desde el inicio hasta el final de la curva (mm); la extensibilidad E1, medida desde el comienzo hasta el punto de máxima resistencia R1; la relación R/E; y finalmente, el área del extensograma, que representa la fuerza de la masa y se calcula como el área bajo la curva.

El farinógrafo, en cambio, mide la consistencia de la masa, definida como la fuerza requerida para mezclarla a una velocidad constante y lograr la absorción óptima de agua que permita alcanzar la consistencia deseada. Este equipo genera una curva que refleja las propiedades que determinan la calidad de la harina. La curva alcanza un punto máximo de consistencia y luego desciende conforme las proteínas se transforman en gluten y la masa pierde resistencia debido al amasado continuo (Lazcano, 2010, citado por Farfán, 2017). En síntesis, el farinógrafo determina la resistencia de la masa al amasado y permite establecer, mediante ensayo y error, la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia ideal, equivalente a 500 Unidades Brabender. Entre los parámetros más relevantes reportados se encuentra el tiempo de desarrollo (TdFar), que indica la duración del amasado requerida para cada tipo de harina. La posición del punto más alto de la curva señala el tiempo estimado de amasado en condiciones industriales (Farfán, 2017). Otro parámetro fundamental es la absorción de agua (Abs, %), que refleja la capacidad de la harina para hidratarse (Serna, 2013).

Esta característica se deduce de la cantidad de agua necesaria para producir una masa de consistencia correcta que llegue a la línea 500 U.B. Cuando se trabaja con una harina que presenta buena capacidad de absorción, es necesario realizar ajustes en el proceso, ya que el pico de la curva del farinógrafo puede elevarse por encima del nivel de referencia. Dicho ajuste debe efectuarse en cada tipo de harina con el fin de mantener el pico de la curva en la línea establecida (Farfán, 2017). Entre los parámetros derivados de este análisis se encuentra la estabilidad (Est, min), que indica el tiempo durante el cual la masa mantiene su resistencia antes de debilitarse. Este valor refleja la tolerancia de la harina frente al proceso de fermentación, así como su capacidad para resistir un amasado excesivo sin perder sus propiedades (Farfán, 2017). Otro parámetro relevante es el índice de tolerancia al amasado

(ITA), que se representa como la caída de la curva por debajo de las 500 U.B. durante un periodo determinado de amasado. En este caso, las harinas fuertes se caracterizan por valores bajos de ITA, mientras que las harinas débiles presentan valores altos. Esta diferencia se observa de forma clara en la figura 3, donde se compara la notable estabilidad de una harina fuerte frente al marcado decaimiento de una harina débil (Farfán, 2017).

En cuanto a la panificación, Linlaud (2014) la define como el proceso mediante el cual se obtiene pan a partir de la cocción en horno, a temperatura adecuada, de una masa elaborada con harina y agua potable, que puede o no incluir levadura, sal u otros aditivos autorizados para este tipo de productos alimenticios. Dentro de esta categoría, el pan de molde se distingue por su textura blanda y porque su cocción se realiza en moldes que le otorgan la forma característica. Este tipo de pan suele presentar una mayor vida útil en comparación con otros, conservándose fresco durante más tiempo (Távora, 2015). Asimismo, cuando en su formulación se incorporan granos ricos en compuestos fitoquímicos, el pan de molde adquiere un valor agregado en términos de salud, gracias a su aporte de fibra dietética y antioxidantes (Abarca et al., 2010). Según Callejo (2010), citado por Chuqui (2020), la principal diferencia entre este producto y el pan común radica en su durabilidad. El pan de molde sigue un proceso de elaboración similar al del pan tradicional, aunque con variaciones en la formulación. La masa se coloca en moldes, se hornea, se corta en rebanadas y finalmente se envasa, logrando conservar su frescura por aproximadamente dos semanas.

**Tabla 3.**

Composición nutricional del pan de molde

<b>Nutrientes</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Calorías</b>	274 kcal.
<b>Lípidos</b>	5.2 g.
<b>Proteínas</b>	8 g
<b>Carbohidratos</b>	49.9 g
<b>Fibra</b>	3.6 g.
<b>Sodio</b>	530 mg.
<b>Vitamina B3</b>	3.10 mg.
<b>Hierro</b>	2.30 mg.
<b>Calcio</b>	91 mg.

Fuente: Tablas peruana de composición de alimentos, 2009.



Las galletas constituyen otro tipo de producto de panificación y se definen como preparaciones de consistencia dura o crocante, de formas variadas, obtenidas a partir del horneado de masas elaboradas con harina. Estas pueden incluir o no agentes leudantes y combinarse con ingredientes como leche, féculas, sal, huevos, agua, azúcar, mantequilla, grasas comestibles, saborizantes, colorantes, conservantes y otros aditivos permitidos por la normativa (INDECOPI, 2011, citado por Flores et al., 2017).

Según Bardón et al. (2010), las galletas —cuyo término proviene del francés *galette*—, por su composición y método de elaboración, pueden considerarse productos de pastelería o bollería. Sin embargo, debido a su relevancia en la alimentación y a la amplia diversidad de presentaciones disponibles en el mercado, se clasifican como una categoría independiente. Su principal característica diferenciadora frente a otros productos de panificación radica en su bajo contenido de agua. De acuerdo con la clasificación establecida por INDECOPI, citada en Ocampo (2015), las galletas pueden organizarse en diferentes categorías. Se reconocen, por ejemplo, las galletas simples, que no presentan agregados adicionales; las galletas saladas, caracterizadas por su sabor no dulce; y las galletas dulces, que se distinguen por su contenido azucarado. También se incluyen las galletas tipo wafer, elaboradas a partir de una masa líquida horneada en forma de obleas, que posteriormente se rellenan para formar un sándwich; las galletas con relleno, a las que se les adiciona algún ingrediente en su interior; y finalmente, las galletas recubiertas, que poseen un baño o revestimiento externo y pueden ser tanto simples como rellenas. En el cuadro siguiente se muestra el valor nutricional de la galleta.

### 2.3. Marco Conceptual

**Antioxidantes:** Un antioxidante se define como una molécula con capacidad para retrasar o impedir la oxidación de otras moléculas, protegiéndolas de posibles daños oxidativos (Abderrahim et al., 2012).

**Quinoa** (*Chenopodium quinoa*): La quinoa es un grano andino destacado por su alto contenido de proteínas, que oscila entre 10,4% y 17%, superando a otros cereales como el arroz (8%), el trigo (8,9%), el maíz (9,4%) y la cebada (10%). A diferencia de estos, la quinoa posee proteínas completas de elevado valor biológico, al contener todos los aminoácidos esenciales y no esenciales. Asimismo, se caracteriza por ser un alimento libre de gluten, lo que la convierte en una alternativa adecuada para personas con enfermedad celíaca. Por otro lado, la calidad y cantidad de sus proteínas hacen que sea ampliamente utilizada en regímenes alimenticios veganos (Valencia, Ccapa, Catacora, & Quispe, n.d.).

**Compuestos bioactivos:** Se consideran compuestos bioactivos a aquellas sustancias químicas presentes en pequeñas cantidades en frutas, hortalizas, granos, frutos secos y aceites. Estas moléculas, aunque no esenciales en la dieta, cumplen funciones en el organismo que favorecen la salud y actualmente se investigan por su papel en la prevención de enfermedades como cáncer y cardiopatías. Ejemplos de este grupo son el licopeno, resveratrol, lignanos, taninos e índoles (Repo & Encina, 2008).

**Compuestos fenólicos:** Los compuestos fenólicos son moléculas orgánicas que se caracterizan por poseer al menos un grupo fenol en su estructura, constituida por un anillo aromático unido a un grupo hidroxilo (Luna, 2015).

**Digestibilidad:** La digestibilidad expresa el grado en que un alimento puede ser aprovechado por el organismo, midiendo la fracción de nutrientes que efectivamente es absorbida (López-Martínez, 2017).

**Fibra dietética:** La fibra dietética corresponde a la fracción de los alimentos que no es degradada por el sistema digestivo humano. Solo una pequeña proporción se metaboliza en el estómago e intestino, mientras que la mayor parte transita por el tracto gastrointestinal hasta formar parte de las heces (Abderrahim et al., 2012).

**Germinación:** La germinación es un proceso biológico y agroindustrial en el que el grano reactiva su crecimiento embrionario tras un periodo de latencia, siempre que se encuentre en un ambiente favorable. Durante este proceso se activan enzimas

que convierten almidones en azúcares simples, lo que aumenta la disponibilidad de nutrientes para el organismo (Aliaga, Mamani & Mamani, 2017).

**Harina:** Se entiende por harina el producto en polvo que se obtiene al moler granos o cereales (Choquehuanca, 2015).

**Kiwicha (*Amaranthus caudatus*):** La kiwicha es un cultivo andino que ya era aprovechado en la época incaica y en civilizaciones anteriores. Sus semillas presentan tonalidades que van del negro al rojo, siendo más comunes las variedades blancas o marfil. Con respecto a su valor nutricional tiene un aporte excepcional. En especial se puede destacar sus proteínas con alto valor biológico, pero también cuentan un contenido relativamente alto de aceite con buenas características nutricionales (Paucar-Menacho *et al.*, 2017).

**Palatabilidad:** La palatabilidad hace referencia a la sensación de agrado o recompensa hedónica que generan los alimentos y bebidas en el paladar, la cual puede estar vinculada con la satisfacción de necesidades de energía, agua o nutrientes (López-Martínez, 2017)

**Proteínas:** Las proteínas son macromoléculas esenciales compuestas por cadenas lineales de aminoácidos, que cumplen múltiples funciones estructurales y metabólicas en los organismos (Ayala et al., 2004).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. MATERIALES

##### 3.1.1. Bienes

- Harina de trigo (WF)
- Harina de quinua germinada (GQF)
- Harina de kiwicha germinada (GKF)

##### 3.1.2. Materiales, reactivos y herramientas

###### Materiales y reactivos

- Agua destilada (proceso de germinación y análisis)
- Éter de petróleo o hexano (solvente extractor de grasa).
- Reactivo Folin–Ciocalteu (compuestos fenólicos totales – TPC)
- Carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).
- Estándar: Ácido gálico
- Ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).
- Catalizador Kjeldahl (mezcla de sulfato de cobre y selenio o sulfato de potasio).
- Hidróxido de sodio (NaOH).
- Ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) como solución receptora.
- Ácido clorhídrico (HCl) estándar para titulación.
- Estándar de ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA).
- Acetonitrilo (grado HPLC).
- Agua ultrapura (Milli-Q).
- Reactivos ORAC-FL (capacidad antioxidante)
- Trolox (análogo de la vitamina E).
- buffer fosfato.
- Fluoresceína

###### Equipos

- HPLC (cuantificación de GABA)
- Farinógrafo y Extensógrafo E-Brabender (propiedades reológicas)
- Amilógrafo (viscosidad del almidón)
- Hornos de secado (estabilización de granos germinados)
- Molino (obtención de harina de grano germinado)
- Tamiz (control de granulometría de harina)
- Moldes y utensilios de panificación (amasado, fermentación y horneado)

#### 3.2. MÉTODOS

##### 3.2.1. Métodos de la investigación

De acuerdo con su finalidad, la investigación se enmarca dentro del enfoque aplicativo. En cuanto al manejo de variables, corresponde a un diseño experimental. Finalmente, por su contexto de ejecución, el estudio se desarrolló en condiciones de laboratorio, lo que permitió un mayor control de los procesos y de las variables involucradas.

### 3.2.2. Diseño

La presente investigación fue conducida bajo el enfoque cuantitativo siguiendo un diseño experimental con grupo de control.

**GE: O<sub>1</sub> ---- X ---- O<sub>2</sub>**

**GC: O<sub>1</sub> ---- X ---- O<sub>2</sub>**

Donde:

**GE:** Grupo Experimental (Granos Germinados – Pan de Harinas germinadas – Galletas de Harinas Germinadas)

**GC:** Grupo Control (Granos Sin Germinar - Pan Control – Galleta Control)

**O<sub>1</sub>:** Observación pre-experimental de la VD

**O<sub>2</sub>:** Observación post-experimental de la VD

VD: Composición proximal (humedad, grasa, ceniza, proteína), TPC, GABA y actividad antioxidante (ORAC)

**X:** Variable Independiente (Mezcla de las harinas germinadas para galletas y para panes)

En ese sentido, se aplicó un diseño Simplex con Centroide (DSC) de la metodología de Superficie de Respuesta para ello se estableció los niveles inferior, medio y superior (Tabla 4 y Tabla 5) para la conformación de los 14 tratamientos experimentales que se muestra en la Tabla 6 y Tabla 7 por cada mezcla de harinas y por cada producto (Pan de molde y galleta).

**Tabla 4.** Puntos Experimentales – Elaboración de Galletas

Harina Germinada	Nivel Inferior	Nivel Medio	Nivel Superior
Quinoa - GQF (%)	5%	15%	25%
Kiwicha - GKF (%)	5%	15%	25%
Trigo - WF (%)	60%	70%	80%

**Tabla 5.** Puntos Experimentales – Elaboración de Panes de Molde

Harina Germinada	Nivel Inferior	Nivel Medio	Nivel Superior
Quinoa - GQF (%)	5%	10%	15%
Kiwicha - GKF (%)	5%	10%	15%
Trigo - WF (%)	80%	85%	90%



**Tabla 6.** Matriz de experimentos - Galletas

N°	Variables Independientes			Variables Dependientes			
	X1: GQF (%)	X2: GKF (%)	X3: WF (%)	Ácido Fítico	Capacidad Antioxidante (ORAC) (mg /100g)	GABA (mg /100g)	Fenoles Totales (TPC) (mg /100g)
1	15	15	70				
2	20	20	60				
3	5	20	75				
4	20	20	60				
5	5	20	75				
6	5	20	75				
7	20	20	60				
8	10	25	65				
9	20	5	75				
10	20	5	75				
11	10	10	80				
12	25	10	65				
13	20	5	75				
14	25	10	65				

**GQF:** Harina de Quinoa germinada

**GKF:** Harina de kiwicha germinada

**WF:** Harina de trigo

Fuente: Design Expert V.12.0

**Tabla 7.** Matriz de experimentos – Pan del molde

N <sup>o</sup>	Variables Independientes			Variables Dependientes						
	X1: GQF (%)	X2: GKF (%)	X3: WF (%)	Humedad (%)	Aw	Volumen Específico	Ácido Fítico	Capacidad Antioxidante (ORAC) (mg /100g)	GABA (mg /100g)	Fenoles Totales (TPC) (mg /100g)
1	8	8	83							
2	15	5	80							
3	10	10	80							
4	5	15	80							
5	5	15	80							
6	5	10	85							
7	7	12	82							
8	5	5	90							
9	15	5	80							
10	10	5	85							
11	7	7	87							
12	5	10	85							
13	12	7	82							
14	5	5	90							

**GQF:** Harina de Quinoa germinada

**GKF:** Harina de kiwicha germinada

**WF:** Harina de trigo

Fuente: Design Expert V.12.0

### 3.2.3. Población y muestra

La población de estudio estuvo constituida por granos de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). Las muestras correspondieron a granos seleccionados y certificados de quinua, variedad Pasankalla (*Chenopodium quinoa* var. pasankalla), y de kiwicha, variedad Centenario (*Amaranthus caudatus* var. centenario), los cuales fueron obtenidos del Programa de Investigación en Cereales y Granos Nativos (PIPS) de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

### 3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos aplicados estuvieron en función a las etapas del proyecto:

- a) **Germinación de los granos andinos:** La germinación de los granos de kiwicha se realizó bajo condiciones de 26 °C, 90% de humedad relativa y un tiempo de 72 horas, mientras que para los granos de quinua se aplicaron parámetros de 20 °C, 90% de humedad relativa y 48 horas de duración. Dichas condiciones fueron establecidas siguiendo las recomendaciones reportadas en estudios previos (Paucar-Menacho et al., 2017; Paucar-Menacho et al., 2018).
- b) **Elaboración de harina de los granos andinos germinados:** Los granos germinados fueron sometidos a un proceso de secado a 40 °C hasta alcanzar un contenido de humedad entre 3% y 4,5%. Posteriormente, se procedió a la molienda y tamizado, obteniéndose partículas con un tamaño comprendido entre 150 y 200 µm. Finalmente, las harinas resultantes fueron envasadas en bolsas de polietileno de alta densidad para su conservación.
- c) **Caracterización de la composición proximal, compuestos fenólicos solubles (TPC), ácido gamma-aminobutírico (GABA) y actividad antioxidante (ORAC) de la harina de granos germinados:** Se realizó el análisis proximal de las harinas según los métodos de la AOAC, humedad (método 925.10), grasa (método 922.06), ceniza (método 923.03), proteína (método Kjeldahl 920.87) análisis realizados en los laboratorios del IITA-UNS. La cuantificación del contenido de ácido gamma-aminobutírico (GABA) se realizó por HPLC, compuesto fenólicos por Folin Ciocalteus y actividad

antioxidante por ORAC-FL según esta descrito por Paucar-Menacho et al. 2017, análisis realizados en el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (ICTAN) España.

- d) Caracterización de los parámetros reológicos de las masas de panificación formuladas con granos andinos germinados:** Se aplicó la metodología propuesta por la American Association of Cereal Chemists (AACC) International, siguiendo el método 54-10.01 para el análisis farinográfico. Dicho procedimiento se realizó utilizando un equipo Extensograph E-Brabender, con el propósito de evaluar parámetros reológicos tales como la resistencia a la extensión a velocidad constante (U.E.), la resistencia máxima (U.E.), la extensibilidad (mm) y la energía (cm) (AACC, 1999).
- e) Caracterización del producto terminado:** Se llevó a cabo el análisis de la calidad nutricional de los productos de panificación (pan y galletas), considerando la determinación de la composición proximal —humedad, grasa, ceniza y proteína—, así como la cuantificación de compuestos fenólicos solubles (TPC), ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA), actividad antioxidante mediante el método ORAC y contenido de ácido fítico, de acuerdo con la metodología descrita por Paucar-Menacho et al. (2017).

Para las diferentes caracterizaciones, los datos obtenidos fueron registrados en hojas de cálculo de Excel y posteriormente sometidos a las técnicas de procesamiento y análisis estadístico definidas en la presente investigación.

#### 3.4. Procedimiento de la recolección de datos

**Variable independiente:** Las variables son los componentes de la mezcla de harina a base de granos andinos germinados destinados a la elaboración de productos de panificación:

- a) Pan de molde (PM), se trabajó con la mezcla de dos granos andinos germinados y harina de trigo, quedando de la siguiente manera: PM elaborado a partir de sustitución de harina de trigo (80-90%) con granos germinado de quinua (5-15%) y kiwicha (5-15%).

- b) Galleta (G), se trabajó con la mezcla de dos granos andinos germinados quedando de la siguiente manera: G elaborada a partir de sustitución de harina de trigo (60-80%) con granos germinado de quinua (5-25%) y kiwicha (5-25%).

**Variable dependiente:** Para el análisis estadístico de las variables se aplicó la metodología de superficies de respuesta para optimizar la formulación, teniendo como base la sustitución de harina de trigo de hasta un 20% por harina de granos andinos germinados para pan de molde y de hasta un 40% para galletas.

El proceso de elaboración comprendió dos etapas principales:

i) Pan de molde: se siguieron las operaciones de pesado de ingredientes, mezclado, amasado, reposo, boleado, corte y formado en moldes de 650 g. Posteriormente, las masas fueron sometidas a fermentación y horneado. Una vez enfriados, los panes se envasaron en bolsas de polipropileno para su posterior análisis.

ii) Galletas: la preparación inició con la formulación y la etapa de cremado, consistente en batir margarina, azúcar, huevos y leche hasta obtener una mezcla homogénea y cremosa. Luego se incorporaron los ingredientes sólidos (harinas) a la mezcla líquida, incluyendo la adición de agua y leche, hasta lograr una masa uniforme lista para su procesamiento. Se amasa hasta lograr una mezcla homogénea de los ingredientes. Luego del laminado se procedió a moldear, para someter a una cocción a 180°C por 30 minutos. Posterior enfriamiento y embolsado en bolsa de polipropileno para el análisis final.

A los panes de molde y galletas se realizará:

- i) **Análisis funcionales:** Los análisis funcionales determinados fueron TPC, ORAC, GABA y ácido fítico.
- ii) **Optimización de la mezcla de harinas,** Se empleó el método de la función deseada y valor de desiribilidad (Myers & Montgomery, 2002) para determinar la formulación óptima.

### 3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de los resultados

Los granos de quinua y kiwicha, tanto en su estado previo como posterior a la germinación, fueron sometidos a análisis fisicoquímicos, y una vez obtenidos los valores respectivos, se procedió al tratamiento estadístico de los datos. Para las



variables relacionadas con el contenido de compuestos fenólicos solubles (TPC), ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA) y actividad antioxidante (ORAC), se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) mediante el software Statgraphics Centurion XVI, versión 16.1.17 (Statistical Graphics Corporation, Rockville, MD). En el caso de los datos correspondientes al análisis proximal (humedad, grasa, ceniza y proteína), el tratamiento estadístico se realizó igualmente mediante análisis de varianza (ANOVA), utilizando el programa SPSS, versión 22.0.

Para la evaluación de las diferencias significativas entre las harinas de granos andinos germinados y sin germinados se determinaron mediante el Tucke'y standarizado (HSD) a un nivel de probabilidad del 5% ( $p \leq 0,05$ ), a través del programa SAS System. Los datos han sido representados como la media  $\pm$  el error estándar, y los resultados fueron estadísticamente significativos cuando su valor p fue menor de 0,05.

La técnica utilizada para el procesamiento y análisis de los resultados consistió en la aplicación de un análisis estadístico mediante diseño de mezclas (DSC), en el cual se representó el universo de posibilidades de combinación de las harinas de granos germinados a través de un triángulo experimental. Dichas combinaciones quedaron expresadas en una matriz conformada por 14 tratamientos experimentales (Tablas 6 y 7).

El análisis estadístico incluyó la aplicación de regresión múltiple para evaluar el efecto de las harinas sobre las variables dependientes. Para ello se emplearon los programas Statistica v. 6.0 y Design Expert v. 12.0, considerando un análisis de varianza ( $\alpha = 0.05$ ) sobre modelos de regresión lineal, cuadrático y cúbico, con el fin de seleccionar el modelo más significativo ( $p < 0.05$ ) y con mejor ajuste ( $R^2$ ). Con el modelo seleccionado se construyeron las superficies de respuesta, lo que permitió identificar los rangos óptimos de harinas que maximizan las variables dependientes ORAC, GABA y TPC.

Los criterios empleados para la optimización se basaron en el método de la función deseada, el cual consiste en estandarizar cada variable de respuesta (VD) asignándole un valor comprendido entre 0 y 1, donde 0 representa que se encuentra fuera del rango deseado y 1 indica que está dentro del rango establecido. Posteriormente, todas las funciones deseadas correspondientes a las diferentes respuestas se integran en una función global D ( $0 < D < 1$ ), calculada como el promedio geométrico de las n funciones individuales. En este contexto, un valor elevado de D refleja un mejor

desempeño del sistema y, por tanto, se interpreta como la solución óptima. Como criterio aplicable para la optimización fue buscar maximizar el contenido de las variables dependientes ORAC, GABA y TCP, y minimizar el contenido de Ácido Fítico.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Germinación de los granos andinos

La germinación de los granos de quinua (*Chenopodium quinoa* var. Pasankalla) y kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. Centenario) se llevó a cabo siguiendo las condiciones descritas por Paucar-Menacho et al. (2017, 2018). Para asegurar un control adecuado de los parámetros de germinación, el proceso se realizó en una cámara climática de marca LABTECH, modelo 2250C. Una vez alcanzada la longitud de radícula requerida, los granos germinados fueron sometidos a secado en una secadora de bandejas hasta alcanzar una humedad del 4,5%. Finalmente, el producto seco fue transformado en harina.



Acondicionamiento de granos de quinua y kiwicha



Inicio de germinación de los granos de quinua y kiwicha



Granos de quinua germinados



Granos de kiwicha germinados



Granos de quinua germinados secos



Granos de kiwicha germinados secos



Acondicionamiento para la molienda de los granos germinados de quinua y kiwicha



Harina de granos de quinua germinada



Harina de granos de kiwicha germinada

**Figura 6.** Proceso de germinación de los granos de quinua y kiwicha.



#### **4.2. Elaboración de harina a partir de los granos andinos germinados**

La obtención de harina a partir de granos germinados de kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. Centenario) se llevó a cabo conforme al procedimiento descrito en la Figura 6, mientras que la Figura 7 muestra el proceso aplicado para la producción de harina proveniente de la germinación de quinua (*Chenopodium quinoa* var. Pasankalla). Dichas actividades se desarrollaron en el Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustria (IITA) de la Universidad Nacional del Santa. Cabe señalar que los granos de quinua y kiwicha utilizados correspondieron a las variedades Pasankalla y Centenario, respectivamente, los cuales fueron adquiridos en el PIPS de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina y posteriormente recepcionados en el IITA, donde se mantuvieron bajo condiciones de frescura y adecuada ventilación. Por otro lado, los procedimientos específicos de germinación de ambos granos se detallan en las Figuras 7 y 8, siguiendo los parámetros establecidos en investigaciones previas (Paucar-Menacho et al., 2017; Paucar-Menacho et al., 2018).



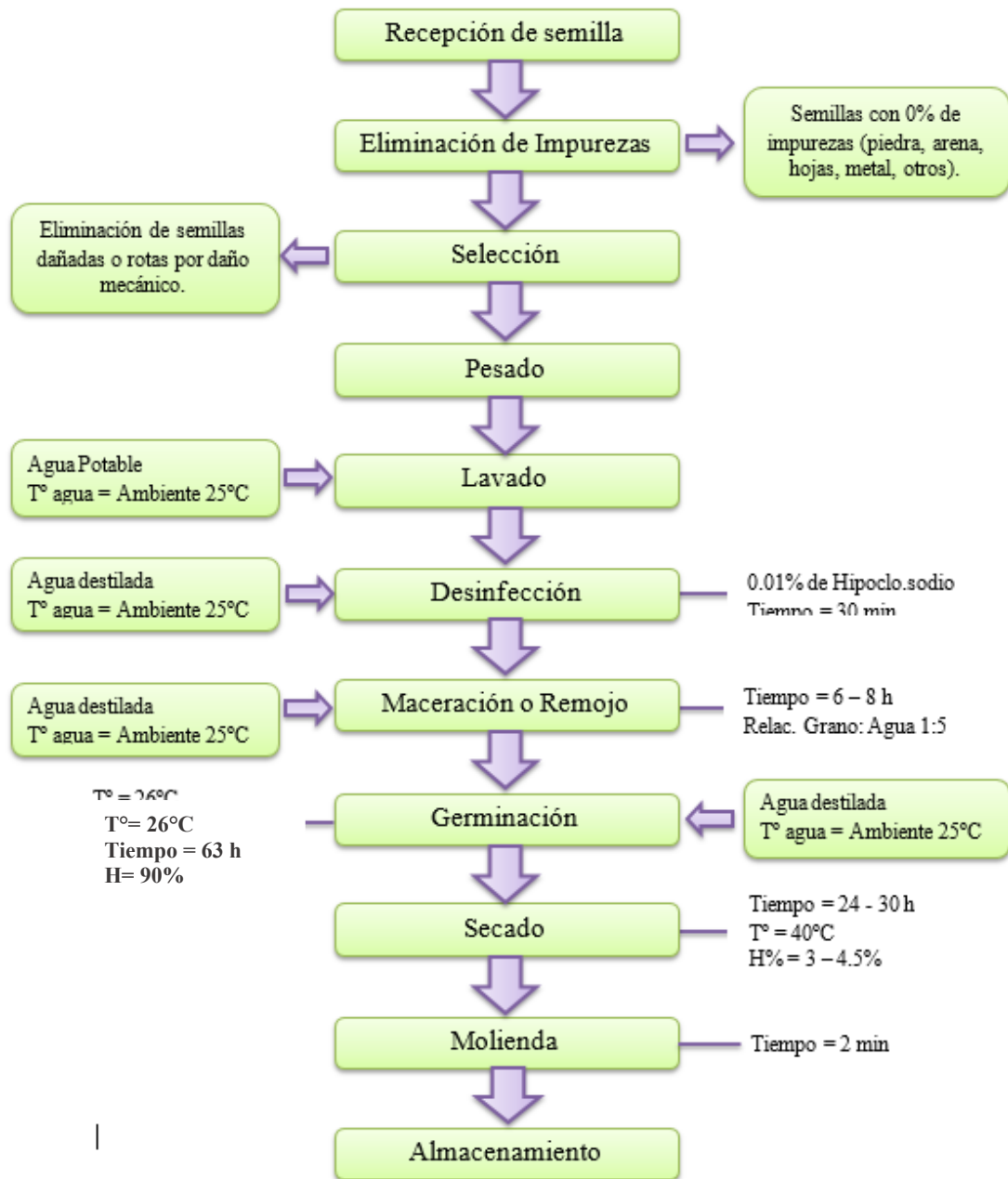
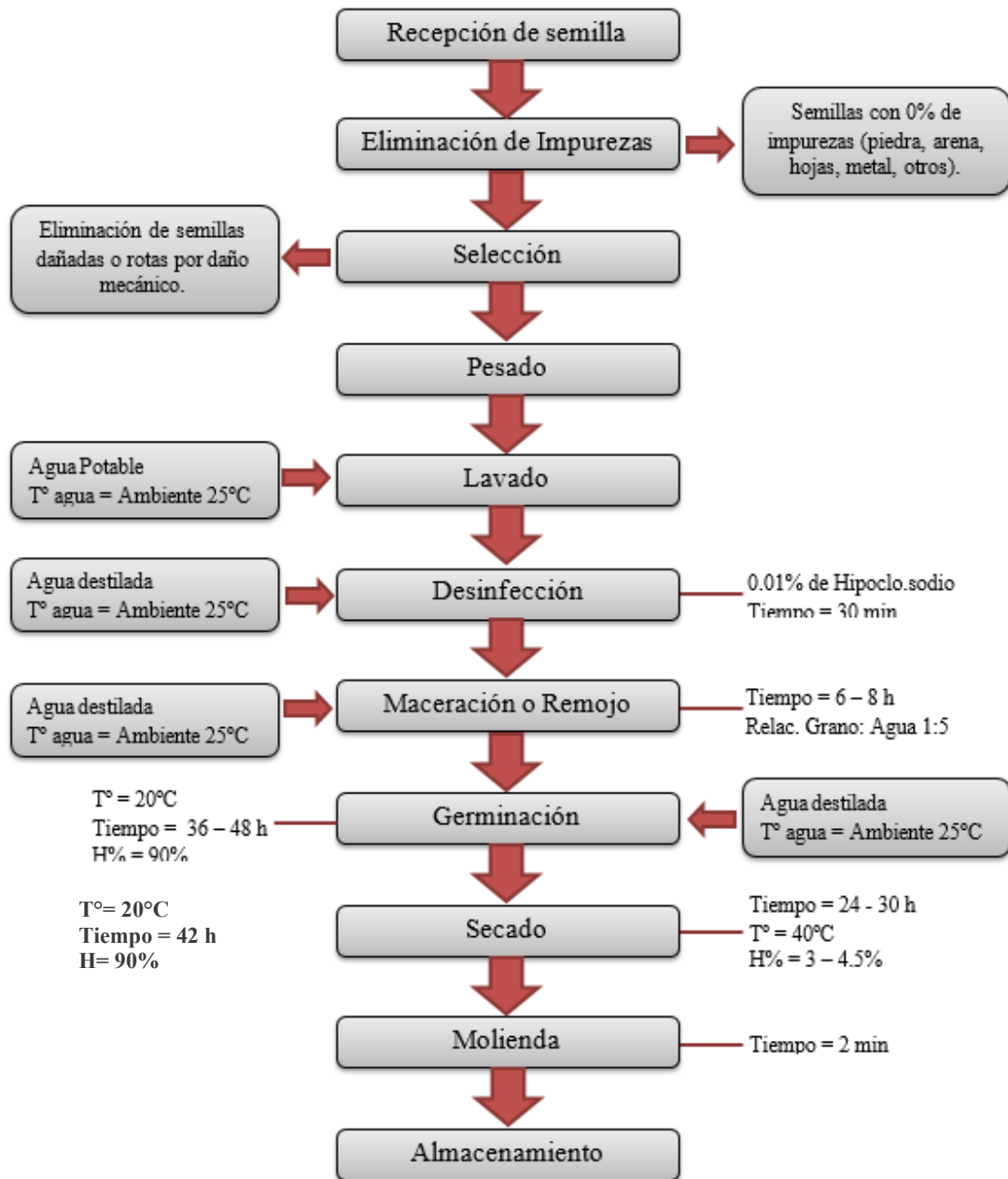


Figura 7. Diagrama de bloques de la germinación de granos de kiwicha



**Figura 8.** Diagrama de bloques de la germinación de granos de quinua (*Chenopodium quinoa*).

**Recepción y Selección:** Se utilizó *Amaranthus caudatus* var. Centenario y *Chenopodium quinoa* var. Pasankalla, a los cuales se les realizó un proceso de limpieza inicial para eliminar impurezas como tierra, restos de paja, hojas, fragmentos metálicos, piedras y otras materias extrañas presentes en el grano. Posteriormente, se efectuó una selección manual destinada a separar los granos dañados de aquellos en buen estado, así como a retirar semillas de otras especies ajenas a la kiwicha y la quinua.

**Pesado:** En los ensayos experimentales se trabajó con 300 g de cada una de las variedades de grano. Para la etapa de pesado se recurrió a una balanza gramera, modelo XB 320M, la cual posee una capacidad máxima de 4,200 kg.

**Desinfección:** Como agente desinfectante se utilizó hipoclorito de sodio al 0,01%, aplicando un tiempo de inmersión de 30 minutos. El procedimiento se llevó a cabo en un matraz Erlenmeyer de 1000 ml, cuyo cuello cilíndrico fue cubierto con papel aluminio para garantizar la protección durante el tratamiento.

**Maceración o Remojo:** Se utilizó agua destilada a temperatura ambiente (25 °C) en una relación grano:agua de 1:5. El tiempo de maceración se mantuvo entre 6 y 8 horas, aplicando aireación cada dos horas mediante un compresor de aire. Este procedimiento tuvo como finalidad evitar la acumulación de CO<sub>2</sub> y la formación de alcohol, condiciones que podrían favorecer el desarrollo de hongos.

**Germinación:** El proceso de germinación se efectuó en una cámara climática de la marca LABTECH, modelo 2250C. En su interior se colocaron bandejas plásticas, rejillas de acero inoxidable y papel filtro, los cuales sirvieron como soporte adecuado para las muestras. Las condiciones de germinación establecidas para la kiwicha fueron de 26 °C durante un periodo de 60 a 72 horas, mientras que para la quinua se trabajó a 20 °C con una duración de 36 a 48 horas. En ambos casos, se mantuvo una humedad relativa aproximada del 90%. Al igual que en el Macerado, el grano debe lavarse o enjuagarse cada 12 horas o 1 vez al día. El tamaño de la radícula alcanzado varió entre 2.8 – 3.2 cm (kiwicha) y de entre 2.5 – 3 cm (quinua).

**Secado:** El secado se efectuó en una secadora de bandejas, programada a una temperatura de 40 °C durante un intervalo aproximado de 24 a 30 horas, hasta alcanzar un contenido de humedad comprendido entre 3 y 4,5 %.

**Molienda:** La molienda se llevó a cabo en un molino universal hasta obtener un tamaño de partícula comprendido entre 150 y 200  $\mu\text{m}$ . Posteriormente, el material se envasó en bolsas de polietileno de alta densidad con la finalidad de asegurar un adecuado almacenamiento.

#### **4.3. Caracterización de la composición proximal, compuestos fenólicos solubles (TPC), ácido gamma-aminobutírico (GABA) y actividad antioxidante (ORAC) de la harina de granos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*)**

Para la caracterización de la composición proximal, compuestos fenólicos solubles (TPC), ácido gamma-aminobutírico (GABA) y actividad antioxidante (ORAC) de las harinas obtenidas a partir de los granos germinados de quinua y kiwicha se aplicó las técnicas descritas en la metodología.

##### **A. Efecto de la germinación sobre la composición proximal en harina de granos andinos germinados y sin germinar (Kinich y quinua).**

El procesamiento estadístico de los datos correspondientes al análisis proximal se efectuó mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA), estableciendo un nivel de significancia del 5 % ( $p \leq 0,05$ ). Los resultados obtenidos se presentan en el **Anexo I – Tablas 1B y 1C**, expresados como media  $\pm$  error estándar. Se consideraron diferencias estadísticamente significativas cuando el valor de  $p$  fue menor a 0,05.

**Tabla 8.**

Análisis proximal de las harinas a partir de granos andinos de kiwicha y quinua germinados y sin germinar.

Análisis Proximal*	Harina Kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> var. <i>Centenario</i> ) (g/100 g)		Harina Quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> var. <i>Pasankalla</i> ) (g/100 g)	
	SG	G	SG	G
Humedad (%)	5.79 ± 0.30 <sup>a</sup>	4.22 ± 0.17 <sup>b</sup>	8.88 ± 0.06 <sup>a</sup>	4.52 ± 0.22 <sup>b</sup>
Proteína (% d.m.)	16.05 ± 0.14 <sup>a</sup>	15.38 ± 0.11 <sup>b</sup>	16.87 ± 0.13 <sup>a</sup>	13.52 ± 0.26 <sup>b</sup>
Grasa (% d.m.)	5.10 ± 0.08 <sup>a</sup>	5.86 ± 0.38 <sup>a</sup>	5.21 ± 0.07 <sup>b</sup>	7.18 ± 0.39 <sup>a</sup>
Ceniza (% d.m.)	2.66 ± 0.19 <sup>a</sup>	2.85 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.48 ± 0.17 <sup>a</sup>	2.29 ± 0.08 <sup>a</sup>

d.m.: Base seca. (\*) Valores promedio de tres repeticiones y redondeados a dos decimales / (SG) Sin Germinar / (G) Germinado

Fuente: SAS System – Anexo I/ Laboratorio de análisis y composición de productos agroindustriales – Universidad nacional del Santa / Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (ICTAN – España)

Respecto al contenido de humedad, en las harinas elaboradas a partir de granos de quinua y kiwicha, tanto germinados como sin germinar, el análisis de varianza (ANOVA) presentado en el Anexo I – Tabla 1D mostró un valor de p inferior a 0,05. Este resultado confirma la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias de humedad de las muestras, con un nivel de confianza del 95 %.

En el análisis proximal realizado a las harinas elaboradas con granos de quinua (*Chenopodium quinoa* var. *Pasankalla*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Centenario*), se identificaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de humedad y proteínas (g/100 g) al comparar las muestras sometidas a germinación con aquellas sin germinar. Sin embargo, cuando se evaluó el porcentaje de grasas, esta diferencia no se manifestó en la harina proveniente de kiwicha, mientras que en el caso de la quinua sí se observó una variación marcada.

El estudio del contenido de proteínas y grasas en las harinas de quinua y kiwicha, evaluadas en estado germinado y no germinado, reveló diferencias significativas de acuerdo con el ANOVA (Anexo I – Tabla 1D), al obtenerse un valor de p inferior a 0,05 y un nivel de confianza del 95 %. Los resultados permitieron concluir que la germinación no promovió un incremento en el contenido proteico; por el contrario, se detectó una disminución del 3,52 % en la quinua y

del 0,67 % en la kiwicha en relación con las muestras que no pasaron por este proceso. Este comportamiento ha sido previamente señalado por Torre, Cova y Valera (2018), quienes atribuyen la reducción de proteínas a la acción de la hidrólisis durante la germinación, etapa en la cual las moléculas proteicas se degradan en componentes de menor tamaño como péptidos y aminoácidos.

Cabe destacar que la germinación es un proceso complejo que implica modificaciones en la actividad enzimática de los granos, acompañadas de la ruptura de macromoléculas. Estos cambios contribuyen a la disminución de factores antinutricionales y al incremento en la síntesis de otros metabolitos, lo que deriva en granos con mejores características sensoriales, así como con un valor nutricional y funcional superior, tal como lo evidencia la presente investigación.

El estudio del contenido de cenizas en las harinas de quinua y kiwicha, considerando muestras germinadas y sin germinar, evidenció mediante el análisis de varianza (ANOVA, Anexo I – Tabla 1D) un valor de p mayor a 0,05. Este resultado confirma que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las medias, manteniéndose un nivel de confianza del 95 %. Dichos hallazgos son consistentes con lo reportado por Colmenares (2015), quien concluyó que la germinación no ejerce un efecto relevante en el contenido de cenizas. Sin embargo, estudios como el de Chahuan et al. (2015) plantean lo contrario, al indicar que la germinación sí podría favorecer un aumento en este componente, aspecto que, de acuerdo con Luna (2015), depende principalmente de la variedad, el tipo de grano y su ecotipo.

#### **B. Efecto de la germinación sobre el contenido de compuestos fenólicos solubles (TPC) en harina de granos andinos germinados y sin germinar (quinua y kiwicha).**

En el caso de las harinas obtenidas a partir de granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. Centenario) y quinua (*Chenopodium quinoa* var. Pasankalla), el contenido de compuestos fenólicos totales se encontró en un rango de 49,27 a 62,83 mg GAE/100 g. Se observó que la quinua presentó los niveles más altos de compuestos fenólicos solubles. Además, al someter ambos granos al proceso de germinación, los valores se incrementaron significativamente ( $p < 0,05$ ),



registrándose un aumento del 229,125 % en la quinua y del 115,629 % en la kiwicha. Cabe destacar que, dentro de este comportamiento, la harina germinada de kiwicha mostró un contenido particularmente elevado de compuestos fenólicos solubles, alcanzando los 112,89 mg GAE/100 g.

**Tabla 9.**

Compuestos fenólicos solubles de las harinas a partir de granos andinos de kiwicha y quinua germinados y sin germinar.

Compuestos fenólicos solubles (mg GAE/100 g p.s.)*	Harina Kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> var. <i>Centenario</i> ) (g/100 g)		Harina Quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> var. <i>Pasankalla</i> ) (g/100 g)	
	SG	G	SG	G
TPC (mg GAE/100 g p.s)	49.27±1.44 <sup>a</sup>	112.89±3.92 <sup>c</sup>	62.83±4.89 <sup>a</sup>	72.65±2.42 <sup>a</sup>

TPC: compuestos fenólicos libres

(\*) Valores promedio de tres repeticiones y redondeados a dos decimales

(SG) Sin Germinar

(G) Germinado

Fuente: SAS System – Anexo I/ Laboratorio de análisis y composición de productos agroindustriales – Universidad nacional del Santa / Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (ICTAN – España)

De acuerdo con He, Han, Yao, Shen y Yang (2011), el incremento en la concentración de compuestos fenólicos observado en los granos germinados de kiwicha se explica por la inducción de enzimas vinculadas a la ruta fenilpropanoide, así como por la degradación de polisacáridos y proteínas estructurales de la pared celular, procesos que favorecen la liberación de fenoles originalmente ligados. En la misma línea, Paucar-Menacho (2017) sostiene que variables como la temperatura y el tiempo de germinación ejercen un efecto positivo sobre el contenido fenólico de la kiwicha. En sus resultados se identificó que las condiciones más adecuadas se logran a 26 °C durante 63 horas, alcanzando 385,4 mg GAE/100 g dw. Este hallazgo coincide con lo informado por Perales-Sánchez et al. (2014), quienes evidenciaron que el contenido de fenoles totales, tanto libres como ligados, se incrementa de manera significativa cuando la germinación se desarrolla a temperaturas cercanas a 30 °C y tiempos de entre 70 y 80 horas.

**C. Efecto de la germinación sobre el contenido de ácido gamma-aminobutírico (GABA) en harina de granos andinos germinados y sin germinar (quinua y kiwicha).**

En el caso de las harinas elaboradas a partir de kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. Centenario) y quinua (*Chenopodium quinoa* var. Pasankalla), el análisis mostró que el ácido gamma-aminobutírico (GABA) varió entre 37,38 y 32,98 mg/100 g p.s., correspondiendo a la kiwicha el valor más alto. Sin embargo, al someter los granos andinos al proceso de germinación, se observó un incremento marcado y estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ), con aumentos de 267,52 % en la kiwicha y de 614,13 % en la quinua. Cabe resaltar que en este último caso, el germinado de quinua registró un contenido considerablemente superior, alcanzando 202,54 mg/100 g p.s.

**Tabla 10.**

Contenido de ácido gamma-aminobutírico (GABA) de las harinas a partir de granos andinos de kiwicha y quinua germinados y sin germinar.

Ácido gamma-aminobutírico (GABA) (mg/100 g d.m.)	Harina Kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> var. Centenario) (g/100 g)		Harina Quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> var. Pasankalla) (g/100 g)	
	SG	G	SG	G
GABA (mg/100 g d.m.)	37.38±1.58 <sup>a</sup>	100.00±22.45 <sup>b</sup>	32.98±4.42 <sup>b</sup>	202.54±32.05 <sup>a</sup>

GABA: ácido gamma-aminobutírico

(\*) Valores promedio de tres repeticiones y redondeados a dos decimales

(SG) Sin Germinar

(G) Germinado

Fuente: SAS System – Anexo I/ Laboratorio de análisis y composición de productos agroindustriales – Universidad nacional del Santa / Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (ICTAN – España)

Según lo descrito por Scott-Taggart, Van Cauwenberghe, McLean y Shelp (1999), la acumulación de GABA en los granos germinados se inicia en la fase de remojo y se mantiene a lo largo de todo el proceso de germinación. Este aumento se encuentra estrechamente vinculado con la acción de la enzima glutamato descarboxilasa (GAD), cuya función principal es catalizar la síntesis de dicho compuesto. En este sentido, Paucar-Menacho (2017) reportó que la kiwicha germinada a 26 °C durante 63 h alcanzó 75,7 mg/100 g p.s. de GABA, mientras que a 28 °C durante 42 h se obtuvo un valor de 74,4 mg/100 g p.s., lo que demuestra que tanto la temperatura como la duración del proceso influyen de forma decisiva en la acumulación de este metabolito. Los resultados de esta

investigación evidencian contenidos más altos en comparación con otros estudios, situación atribuida a una mayor actividad de la GAD bajo condiciones de germinación. Asimismo, diversos autores han indicado que el GABA puede sintetizarse adicionalmente a partir de poliaminas por la vía del c-aminobutiraldehído, en la cual intervienen enzimas como la diamino oxidasa (DAO) y la amino aldehído deshidrogenasa (AMADH).

Paucar-Menacho (2018) informó que, tras la germinación, el contenido de GABA en la quinua se incrementó de 17,97 a 122,32 mg por 100 g ps. En la presente investigación se observaron valores aún más elevados, que oscilaron entre 32,98 y 202,54 mg por 100 g ps, superando ampliamente los previamente reportados. Este aumento se explica por la mayor actividad de las enzimas glutamato descarboxilasa (GAD) y diamina oxidasa (DAO), cuya acción se intensifica de manera significativa durante la germinación de cereales y leguminosas (Xu et al., 2010; Yang et al., 2011; Xu & Hu, 2014; Gan et al., 2017).

#### D. Efecto de la germinación sobre la capacidad antioxidante (ORAC) en harina de granos andinos germinados y sin germinar (quinua y kiwicha).

La capacidad antioxidante (ORAC) en la harina de granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Centenario*) y quinua (*Chenopodium quinoa* var. *Pasankalla*) varió entre 274.53 y 1275.53 mg TE/100 g p.s, es el grano de quinua el más rico en ORAC. Estos resultados notoriamente se incrementan al ser sometidos los granos andinos a un proceso de germinación; de 163.49% (kiwicha) y 266.17% (quinua) aumento estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ). El germinado de quinua destacó por su contenido superior en ORAC 3395.04 mg TE/100 g p.s) (Tabla 11).

**Tabla 11.**

Capacidad antioxidante (ORAC) de las harinas a partir de granos andinos de kiwicha y quinua germinados y sin germinar.

Capacidad antioxidante (ORAC) (mg TE/100 g d.m.)	Harina Kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> var. <i>Centenario</i> ) (g/100 g)		Harina Quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> var. <i>Pasankalla</i> ) (g/100 g)	
	SG	G	SG	G
ORAC (mg/100 g d.m.)	274.53±82.23 <sup>a</sup>	448.84±36.98 <sup>b</sup>	1275.53±78.70 <sup>a</sup>	3395.04±145.81 <sup>b</sup>

ORAC: capacidad de absorción de radicales de oxígeno.

(\*) Valores promedio de tres repeticiones y redondeados a dos decimales

(SG) Sin Germinar

(G) Germinado

Fuente: SAS System – Anexo I/ Laboratorio de análisis y composición de productos agroindustriales – Universidad nacional del Santa / Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (ICTAN – España)

He et al. (2011) explican que el incremento significativo de la capacidad antioxidante en granos de kiwicha germinada puede deberse tanto a la liberación de compuestos fenólicos previamente unidos como a la biosíntesis de antioxidantes, procesos que contribuyen a mantener el equilibrio de la homeostasis redox durante la germinación. En la misma línea, Paucar-Menacho (2017) reportó que la actividad antioxidante está influenciada de manera positiva por el tiempo y la temperatura de germinación, siendo este último factor el de mayor impacto. Como resultado, los valores de ORAC en brotes de kiwicha variaron entre 369,46 y 2525,58 mg TE/100 g dw, dependiendo de las condiciones aplicadas.

En contraste, los valores obtenidos en la presente investigación fueron considerablemente menores, alcanzando 448,84 mg TE/100 g dw. Esta diferencia podría explicarse por la sensibilidad de ciertos antioxidantes, como la vitamina C, frente a temperaturas elevadas. Cabe señalar que, en el proceso de obtención de la harina, se aplicó un secado a 40 °C durante 30 horas, lo que probablemente afectó el contenido final de ORAC.

#### **E. Efecto de la germinación sobre el contenido de ácido fítico.**

El contenido de Ácido Fítico en la harina de granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Centenario*) y quinua (*Chenopodium quinoa* var. *Pasankalla*) varió entre 1.23 y 0.90 g/100 g p.s, Estos resultados no se incrementan notablemente al ser sometidos los granos andinos a un proceso de germinación; de 100.81% (kiwicha) y 103.33% (quinua) un aumento que estadísticamente es no significativo ( $p < 0,05$ ) (Tabla 12).

**Tabla 12.**

Contenido de Ácido Fítico de las harinas a partir de granos andinos de kiwicha y quinua germinados y sin germinar.

Ácido fítico (g/100 g)	Harina Kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> var. <i>Centenario</i> ) (g/100 g)		Harina Quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> var. <i>Pasankalla</i> ) (g/100 g)	
	SG	G	SG	G
Ácido fítico (g/100 g)	1.23±0.02 <sup>a</sup>	1.24±0.02 <sup>a</sup>	0.90±0.02 <sup>a</sup>	0.93±0.02 <sup>a</sup>

ORAC: capacidad de absorción de radicales de oxígeno.

(\*) Valores promedio de tres repeticiones y redondeados a dos decimales

(SG) Sin Germinar

(G) Germinado

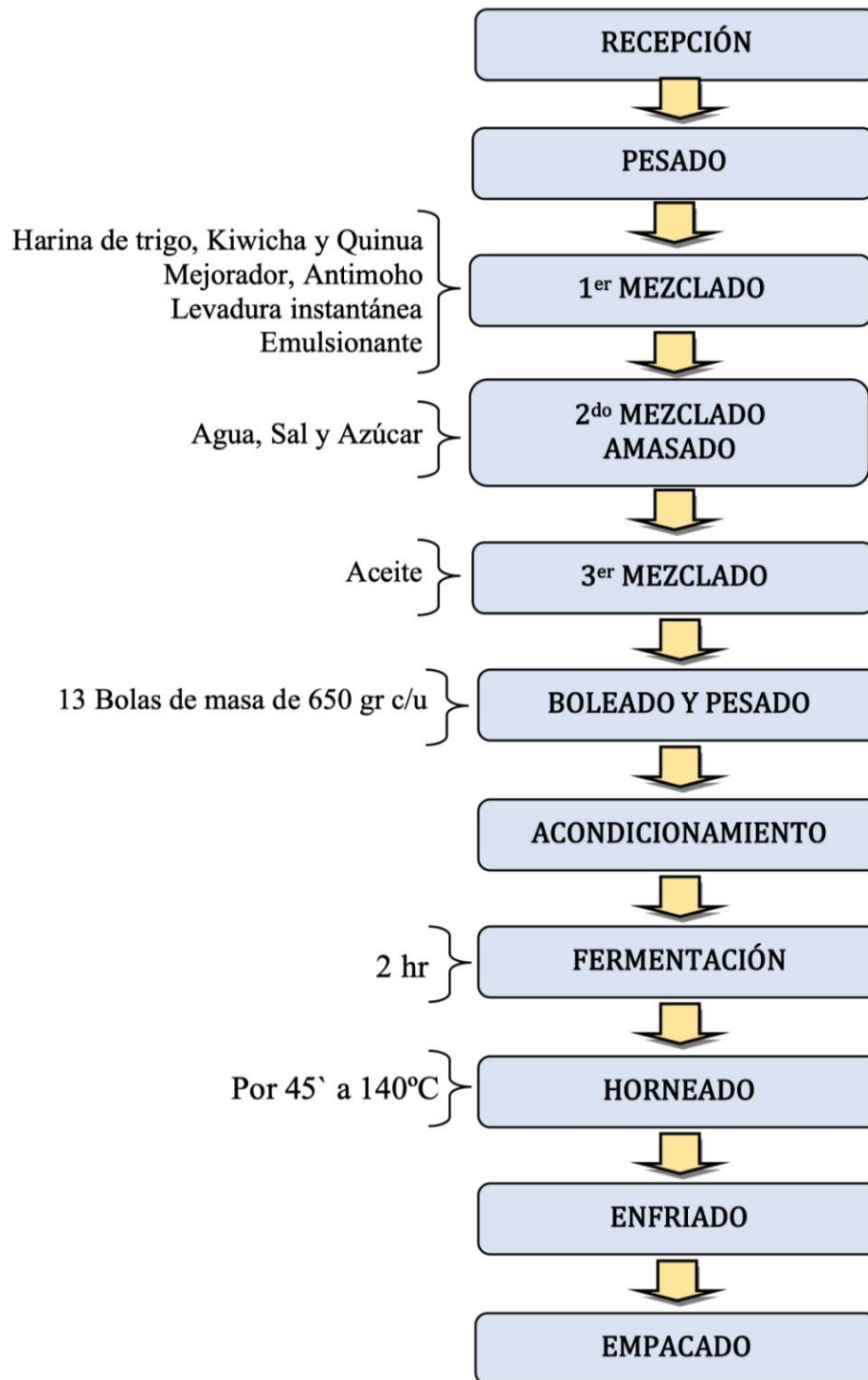
Fuente: SAS System – Anexo I/ Laboratorio de análisis y composición de productos agroindustriales – Universidad nacional del Santa / Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (ICTAN – España)

#### 4.4. Elaboración de los productos de panificación:

Los tratamientos planteados para la elaboración de los productos de panificación de la presente investigación se siguió el procedimiento establecido en la metodología y el orden de las operaciones establecidas se muestran en las Figuras 9 y Figura 10 para el pan y la galleta respectivamente.

Cabe precisar que para las operaciones de mezclado se tuvo en cuenta los tratamientos establecidos en la matriz de experimentos Tabla 6 y 7. Obtenidos los diferentes tratamientos para los panes y galletes se procedió a realizar la caracterización del producto terminado.

**Panes de molde**, para su elaboración se siguió las siguientes etapas: a) pesado, b) mezclado (2-3min), c) amasado (10min), d) reposo (25min), e) boleado, f) corte, g) formado (moldes de 650g), h) fermentación (2.0h) e i) horneado (140 °C por 45 min); luego se enfriará y se depositará en bolsas de polietileno, cuidando de la humedad medio ambiental para su posterior caracterización (Figura 9).



**Figura 9.** Proceso para la elaboración de pan de molde a partir de harinas germinadas

**Recepción de Insumos:** Los insumos considerados en el proceso se organizaron en dos grupos. En el primero se incluyeron las materias primas principales, conformadas por las harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* var. Pasankalla) y kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. Centenario), ambas sometidas a germinación. En el segundo grupo se clasificaron los ingredientes complementarios, dentro de los cuales se emplearon harina de trigo (marca Nicollini), un mejorador enzimático, conservante antimoho, sal, azúcar rubia, agua, levadura, aceite vegetal y un emulsionante, todos necesarios para asegurar las propiedades tecnológicas de la formulación.

**Pesado:** En esta etapa del proceso se efectuó el pesado de los insumos tomando como base 5 kg de harina para cada uno de los 14 tratamientos establecidos, además del control. La operación tuvo una duración aproximada de 30 minutos. Las proporciones de las harinas germinadas de quinua, kiwicha y trigo se ajustaron de acuerdo con lo especificado en la Tabla 6, mientras que los demás componentes de la formulación se mantuvieron constantes: mejorador enzimático (1%), antimohos (0,3%), sal (2%), azúcar (8%), agua (50%), levadura (2%) y aceite (7,5%).

**1<sup>er</sup> Mezclado:** En esta fase del proceso, los insumos iniciales —harina de trigo, harina de kiwicha y quinua, mejorador, antimohos, levadura instantánea y emulsionante— fueron incorporados al amasador. Posteriormente, se puso en funcionamiento el equipo en primera velocidad hasta alcanzar una mezcla homogénea. Esta operación tuvo una duración aproximada de cinco minutos.

**2<sup>do</sup> Mezclado y Amasado:** Una vez concluida la etapa inicial de mezclado, se procedió a añadir la solución preparada con agua, azúcar y sal. Posteriormente, se dio inicio al amasado de la masa, empleando la primera velocidad del equipo durante un tiempo aproximado de 5 minutos, con el fin de lograr una distribución homogénea de los ingredientes.

**3<sup>er</sup> Mezclado:** Durante la última etapa del mezclado se incorporaron el aceite y el agente emulsionante, tras lo cual se prolongó el amasado a la segunda velocidad del equipo durante un lapso de unos siete minutos. En este punto, se procedió a aplicar una prueba de elasticidad a la masa, con la finalidad de evaluar sus características reológicas y



confirmar si el nivel de amasado alcanzado cumplía con los parámetros de calidad requeridos.

***Pesado y Boleado de la Masa:*** Empleando una balanza, la masa fue fraccionada en unidades de 650 g aproximadamente. Posteriormente, tras un breve periodo de reposo, se procedió al boleado manual, técnica mediante la cual se moldeó cada porción hasta obtener una estructura de contorno ovalado, adecuada para continuar con las etapas posteriores del proceso.

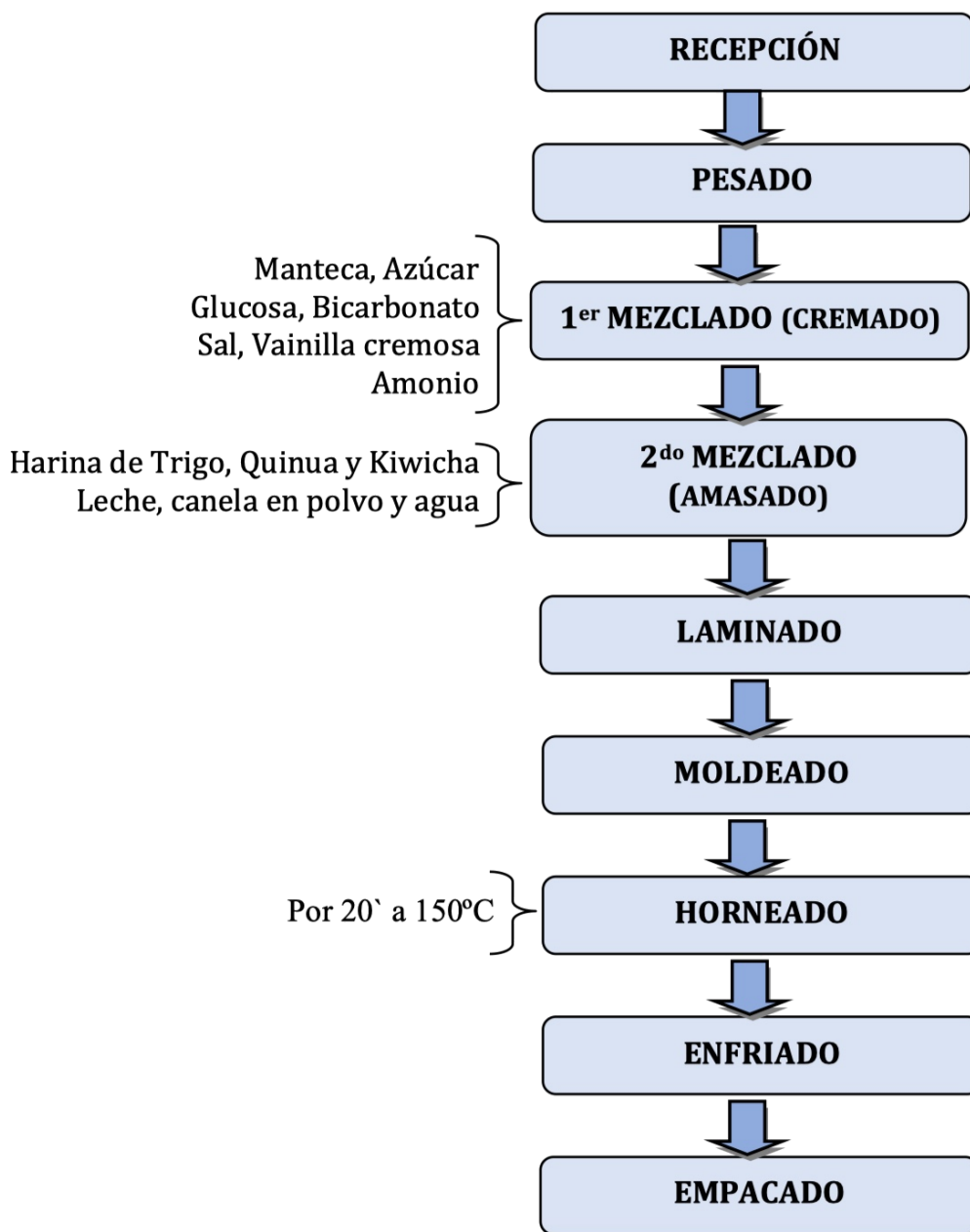
***Acondicionamiento y Fermentación:*** En esta etapa, se utilizó un rodillo para efectuar el laminado manual de cada porción de masa, asegurando uniformidad en la estructura. Posteriormente, las piezas se dispusieron en moldes con el fin de continuar con la fermentación, proceso que se llevó a cabo durante un lapso cercano a dos horas, permitiendo así el desarrollo de las características reológicas y de volumen necesarias para el producto final.

***Horneado:*** Una vez finalizada la fermentación, que tuvo una duración de dos horas, los panes fueron extraídos del fermentador y trasladados a un horno rotatorio. Allí se llevó a cabo el horneado a una temperatura de 140 °C durante cerca de 45 minutos, garantizando la cocción uniforme y el desarrollo de las características sensoriales propias del producto final.

***Enfriado y Empacado:*** Utilizando guantes térmicos, se retiró el carro del horno y los panes fueron desmoldados para colocarlos sobre una mesa, donde se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante aproximadamente tres horas. Una vez completado el enfriado, los panes de molde fueron empacados en bolsas de polipropileno para su conservación.

**Galleta,** para la elaboración del producto se siguieron las siguientes etapas: a) pesado de los insumos, b) cremado, que consistió en batir margarina, azúcar, huevos y leche hasta obtener una mezcla de textura cremosa, c) mezclado de los ingredientes sólidos (harinas de trigo y germinadas) con la fase líquida, incorporando agua y leche, d) amasado hasta lograr la integración completa de los componentes, e) laminado de la masa, f) moldeado, g) cocción, realizada a 150 °C durante 20 minutos, h) enfriamiento a temperatura

ambiente y, finalmente, i) empaquetado en bolsas de polietileno, cuidando de minimizar la exposición a la humedad ambiental, para su posterior caracterización (Figura 10).



**Figura 10.** Proceso para la elaboración de galletas a partir de harinas germinadas

**Pesado:** La etapa de pesado consistió en fraccionar los insumos de acuerdo con la formulación, tomando como referencia 250 g de harina pastelera para cada uno de los 14 tratamientos experimentales, además del control. Las variaciones se

aplicaron únicamente a las proporciones de harinas de quinua, kiwicha y trigo, conforme a lo establecido en la Tabla 7. En cambio, los ingredientes complementarios se mantuvieron sin modificación: manteca vegetal (25,65 %), vainilla cremosa (0,25 %), azúcar (29 %), glucosa (6,7 %), agua (21,68 %), amonio (0,66 %), sal (0,59 %), leche en polvo (1,68 %), bicarbonato de sodio (0,34 %) y canela en polvo (0,25 %).

**1<sup>er</sup> Mezclado:** Durante esta etapa inicial, los ingredientes —manteca, azúcar, glucosa, bicarbonato, sal, vainilla cremosa y amonio— fueron añadidos al batidor. Una vez integrados, se procedió a la operación del equipo, manteniéndolo en funcionamiento por un intervalo de 20 a 25 minutos. Este procedimiento permitió conseguir una mezcla uniforme, condición esencial para asegurar la correcta incorporación de los componentes en las fases posteriores del proceso.

**2<sup>do</sup> Mezclado y Amasado:** Durante esta etapa se incorporaron progresivamente las harinas de trigo, quinua y kiwicha, además de la leche en polvo, la canela y el agua. Estos ingredientes se trabajaron hasta conseguir una masa densa y homogénea, característica esencial para dar estabilidad a la formulación. El amasado continuó durante un intervalo de 20 a 30 minutos, asegurando la adecuada integración de los componentes.

**Laminado:** En esta fase, la masa ya formada fue sometida a un proceso de estirado con la ayuda de un rodillo y una regla, lo que permitió controlar de manera precisa el grosor y garantizar la uniformidad necesaria para las siguientes etapas de elaboración.

**Moldeado:** En esta fase se utilizó un molde especial para dar a la masa una forma cuadrangular uniforme, con un espesor aproximado de 2 mm. Posteriormente, las piezas moldeadas fueron dispuestas en bandejas de aluminio recubiertas con harina y manteca, lo que evitó la adherencia durante la cocción.

**Horneado:** Una vez finalizado el horneado, las galletas fueron retiradas cuidadosamente del horno empleando guantes térmicos. Luego, se dejaron reposar a temperatura ambiente por aproximadamente 10 minutos para su enfriamiento.

Finalmente, se procedió al empaqueo en bolsas de polipropileno de alta densidad con dimensiones de  $2 \times 3 \times 2$  in, garantizando protección y conservación del producto.

***Enfriado y Empacado:*** Con la ayuda de guantes protectores, se extrajo el carro del horno y se colocaron las galletas a reposar a temperatura ambiente por un lapso de 10 minutos, lo que permitió su adecuado enfriamiento. Posteriormente, los productos ya fríos se empaquearon en bolsas de polipropileno de alta densidad con medidas de  $2 \times 3 \times 2$  in, asegurando su conservación y facilidad de almacenamiento.

#### **4.5. Influencia de la sustitución parcial de harinas germinadas en la elaboración de pan de molde y galletas**

En la producción de pan de molde, la harina de trigo es el componente base; no obstante, resulta factible su sustitución parcial por harinas de otros cultivos, lo que contribuye a incrementar el aporte de compuestos con efectos bioactivos y capacidad antioxidante. En este contexto, la presente investigación consideró la incorporación de harinas germinadas de quinua y kiwicha como una alternativa para diversificar y mejorar el valor nutricional del producto. Con la finalidad de asegurar tanto la calidad sensorial como la tecnológica del pan, se analizaron diversas propiedades reológicas de la masa, incluyendo el tiempo de desarrollo, la estabilidad, la resistencia a la extensión, así como parámetros de gelatinización y su punto máximo. Dichos ensayos hicieron posible comprobar que el pan elaborado no solo mantuvo una calidad nutricional adecuada, sino que además presentó propiedades tecnofuncionales idóneas y compatibles con las exigencias de un producto panificado.

La mezcla de harinas germinadas de quinua y kiwicha junto con harina de trigo se preparó de acuerdo con la matriz experimental establecida en la metodología. Para evaluar el comportamiento reológico de las masas se aplicaron distintos ensayos: i) farinográficos, en los que se determinó la absorción de agua (AA, %), el tiempo de desarrollo de la masa (DT, min), la estabilidad durante el amasado (S, min) y la consistencia (C, FE); ii) extensográficos, que permitieron medir la resistencia a la extensión (RE, Unidades Brabender) y la extensibilidad (E, mm); iii) amilográficos, centrados en la evaluación de la temperatura de gelatinización (GT,

°C) y del punto de máxima gelatinización (GM, AU). Los valores promedio obtenidos de las réplicas correspondientes a las 14 formulaciones, desarrolladas bajo el esquema de Diseño Simplex con Centróide, se detallan en la Tabla 13.

**Tabla 13.**

Matriz de resultados de los parámetros reológicos a partir de la mezcla de harinas obtenidas de granos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa var. Pasankalla*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Centenario*).

Formulación de las mezclas Tratamientos Experimentales				Parámetros Reológicos							
T	GQF (%)	GKF (%)	WF (%)	AA (%)	DT (min)	S (min)	C (FU)	GT (°C)	GM (AU)	RE (BU)	E (mm)
1	8	8	83	62.59	3.32	3.77	834	81.2	327	1018	79
2	15	5	80	60.09	3.04	3.58	849	75.8	262	841	92
3	10	10	80	61.69	3.44	3.55	828	80.6	275	860	69
4	5	15	80	60.59	2.44	3.3	873	76.5	309	921	70
5	5	15	80	60.79	2.49	3.35	876	76.4	306	922	70
6	5	10	85	61.09	3.32	3.92	785	82.3	358	1090	76
7	7	12	82	61.69	3.04	3.6	805	79.7	310	1100	74
8	5	5	90	65.09	4.07	4.95	768	84.2	428	1392	77
9	15	5	80	60.05	3.1	3.63	815	75.7	270	841	92
10	10	5	85	61.10	3.64	4.38	791	83.3	340	953	72
11	7	7	87	63.79	3.42	4.1	795	77.2	378	1018	79
12	5	10	85	61.11	3.34	4.13	785	82.3	358	1091	76
13	12	7	82	61.99	3.37	3.33	860	77.1	285	733	74
14	5	5	90	65.06	4.05	4.92	768	84.1	428	1393	77

AA: Absorción de Agua, DT: Tiempo de Desarrollo, S: Estabilidad, C: Consistencia, GT: Temperatura de Gelatinización, GM: Máxima Gelatinización, RE: Resistencia a la extensión, E: Extensibilidad, FE: Unidades Farinograficas, AU: Unidades Amilograficas, BU: Unidades Brabender

**a) Análisis farinográfico de absorción de agua (AA) de la masa:**

El farinógrafo se emplea para evaluar la consistencia de la masa, considerando la fuerza necesaria para mantenerla a velocidad constante, así como la absorción de agua requerida para alcanzar la textura adecuada. Este parámetro corresponde a la cantidad de agua que permite lograr una consistencia estándar de 500 Unidades Brabender “UB” (Pantanelli, 2009). En este estudio, el análisis de varianza de la absorción de agua (AA) (Anexo II – Tabla 2A) reveló que los modelos de regresión construidos con base en los porcentajes de GQF, GKF y WF resultaron significativos ( $p < 0,05$ ) en los modelos lineal, cuadrático, cuadrático espacial, cúbico especial y cúbico. El modelo cuadrático fue seleccionado, dado que presentó el efecto más próximo al nivel de confianza del 95 % ( $p < 0,05$ ). Además, tanto los parámetros lineales como las interacciones entre ellos mostraron significancia estadística (Anexo II – Tabla 2C). El modelo correspondiente se expresa de la siguiente manera:

$$AA = 60.03(A) + 60.60(B) + 65.10(C) + 8.20(AB) - 5.39(BC)$$

La variación en el porcentaje de absorción de agua (AA) de la masa, determinada por la proporción de harina de trigo y las harinas germinadas de quinua y kiwicha incluidas en la formulación, se ilustra en las Figuras 9 y 10. Dichas representaciones gráficas permiten visualizar con mayor claridad la relación entre la composición de las mezclas y el comportamiento de este parámetro reológico.



Component Coding: Actual

AA (%)

● Design Points

60.05  65.09

X1 = A: GQF

X2 = B: GKF

X3 = C: WF

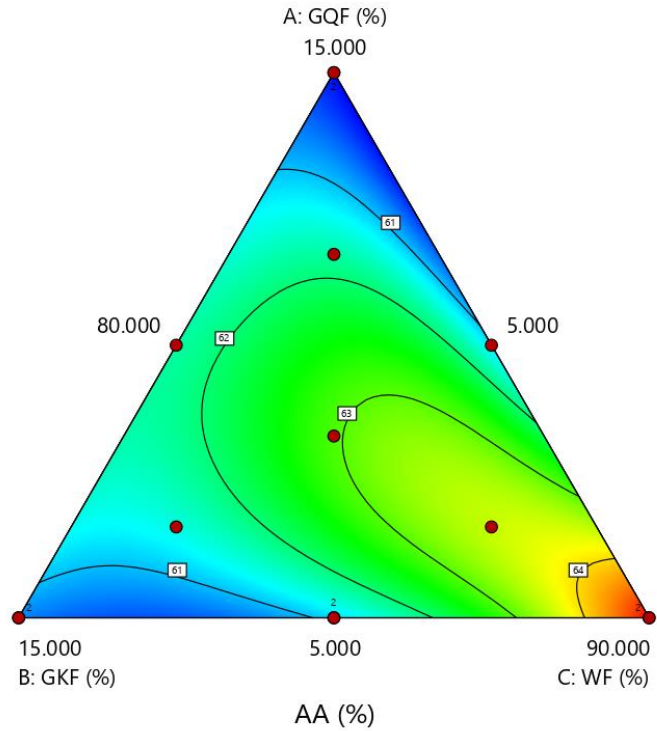


Figura 11. Superficie de Contorno para la Absorción de Agua de la mezcla harinas de GQF, GKF y WF.

AA (%)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

60.05  65.09

X1 = A: GQF

X2 = B: GKF

X3 = C: WF

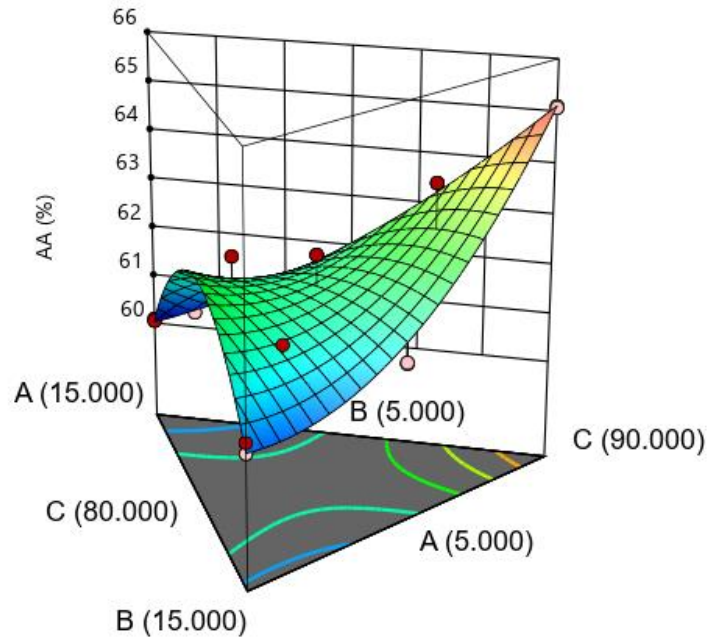


Figura 12 Superficie de respuesta para la Absorción de Agua de la mezcla de GQF, GKF y WF.

De acuerdo con las superficies de contorno y respuesta presentadas en las Figuras 11 y 12, se comprobó que un incremento en la sustitución con harina de trigo, acompañado de una reducción en la proporción de quinua o kiwicha germinada, conduce a un aumento en el porcentaje de absorción de agua (AA). Por el contrario, cuando se eleva la presencia de harinas germinadas en la formulación, este parámetro disminuye. Los valores registrados para AA oscilaron entre 60,05 % y 65,09 %, rango que guarda concordancia con lo descrito por Sapirstein, Wu, Koksel y Graf (2018), quienes reportaron valores entre 54 % y 66 % para harinas de trigo. Dicho comportamiento se relaciona principalmente con factores como el contenido de proteínas y arabinoxilanos, el tamaño de las partículas y el grado de degradación del almidón.

Es preciso indicar que la AA, esta está en relación a la humedad de las harinas, a la cantidad de agua estandarizada por el procedimiento (56 %) y en función a su consistencia, requiriéndose que para la capacidad de absorción de las mezclas mayor cantidad de agua como se demuestra en el análisis reológico, las formulación están por encima de los valores de absorción de agua de la harina de trigo y esto se debe a que las harinas germinadas empleadas en la sustitución absorben agua con mayor facilidad en la hidratación y solubilización.

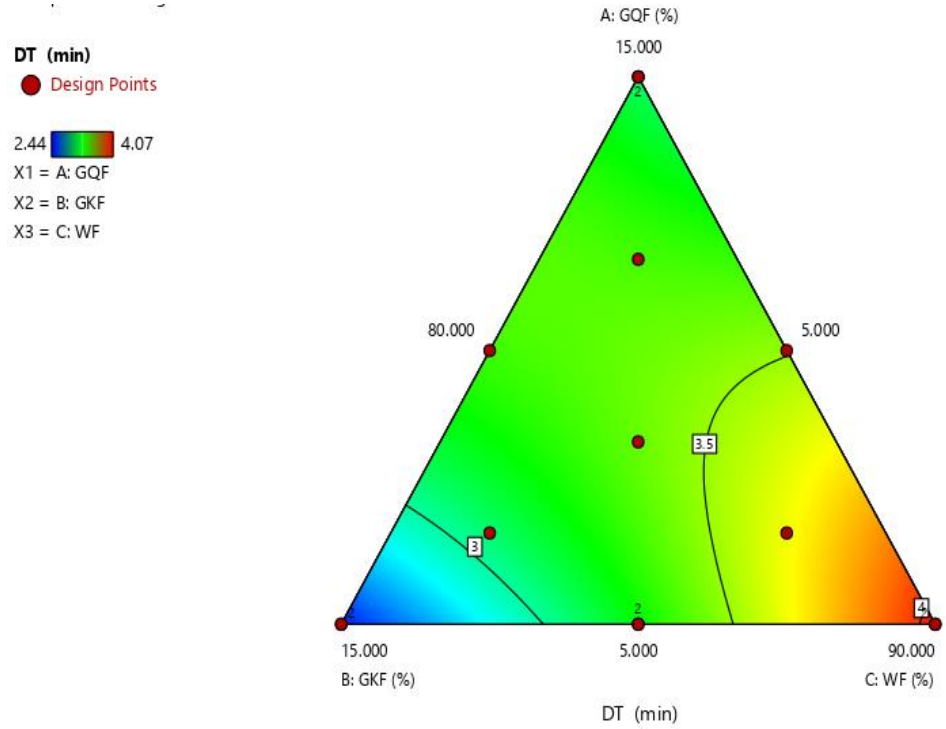
**b) Análisis farinográfico Tiempo de Desarrollo (DT) de la masa:**

El análisis estadístico del tiempo de desarrollo (DT) de la masa se llevó a cabo mediante un ANOVA (Anexo II – Tabla 2D), considerando los porcentajes de GQF, GKF y WF como variables independientes. Los resultados indicaron que el modelo lineal fue el que mejor explicó el comportamiento de este parámetro, al evidenciar significancia estadística con un nivel de confianza del 95 % ( $p < 0,05$ ) (Anexo II – Tabla 2E). De igual modo, tanto los parámetros lineales individuales como la interacción AB resultaron significativos (Anexo II – Tabla 2F). Con base en ello, el modelo matemático correspondiente se formuló de la siguiente manera:

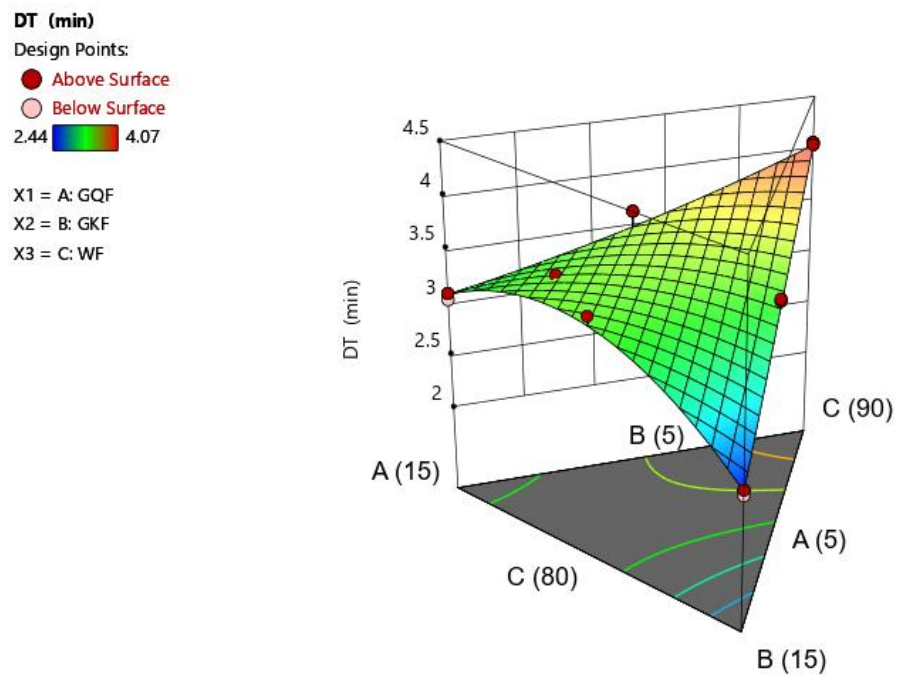
$$DT = 3.09(A) + 2.248(B) + 4.04(C) + 2.28(AB) - 0.2981(AC) - 0.0470(BC)$$

Las Figuras 13 y 14 ilustran la variación del tiempo de desarrollo (DT) de la masa en relación con las proporciones de GQF y GKF

incorporadas en la formulación, junto con la harina de trigo. Estas representaciones permiten evidenciar cómo la combinación de las diferentes harinas influye en este parámetro reológico.



**Figura 13.** Superficie de Contorno - Tiempo de Desarrollo de la masa (DT) de la mezcla de GQF, GKF y WF.



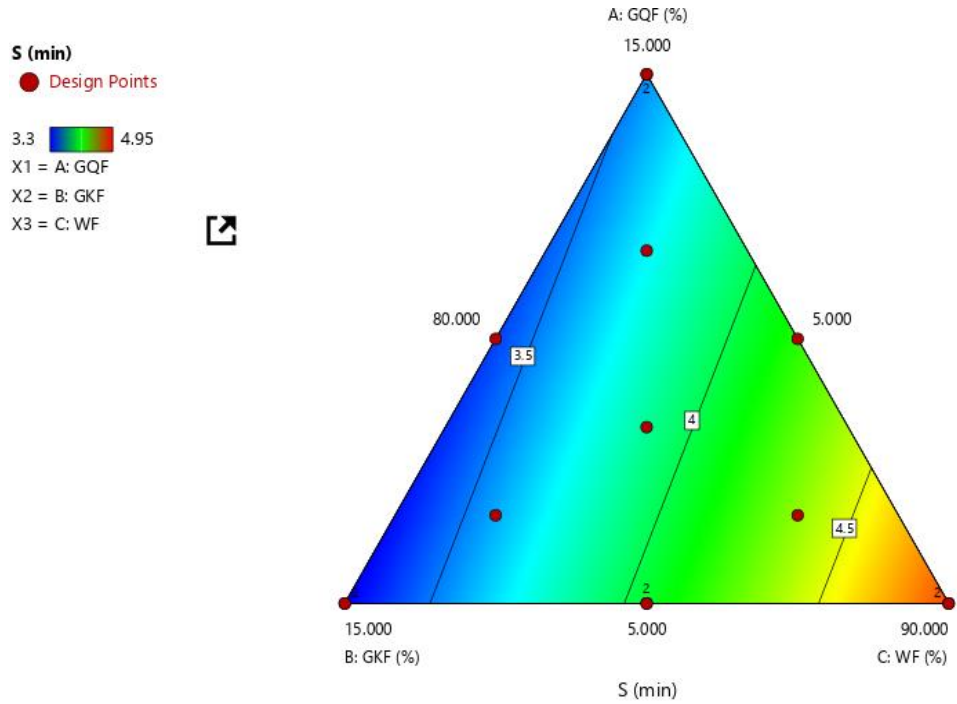
**Figura 14.** Superficie de Respuesta - Tiempo de Desarrollo de la masa (DT) de la mezcla de GQF, GKF y WF.

Los resultados de las superficies de contorno y respuesta (Figuras 13 y 14) evidencian que, cuando la formulación contiene una mayor proporción de harina de trigo y menor cantidad de harinas germinadas de quinua o kiwicha, el tiempo de desarrollo (DT) de la masa tiende a incrementarse. En sentido contrario, al incrementarse la sustitución por harinas germinadas, el DT disminuye de manera significativa. En los 14 tratamientos evaluados, este parámetro mostró valores entre 2,44 y 4,07 minutos. Lescano (2010) reportó un DT promedio de 4,5 minutos para masas preparadas únicamente con trigo, valor superior al encontrado en este estudio. Esta diferencia se atribuye a la sustitución parcial de harina de trigo por harinas de granos germinados, que redujo la cantidad de gluten disponible y, en consecuencia, afectó la estructura viscoelástica de la masa. De manera complementaria, Wang et al. (2017) destacan que un tamaño de partícula más reducido en el trigo permite un desarrollo más acelerado de la masa y posiblemente fortalece la red de gluten formada.

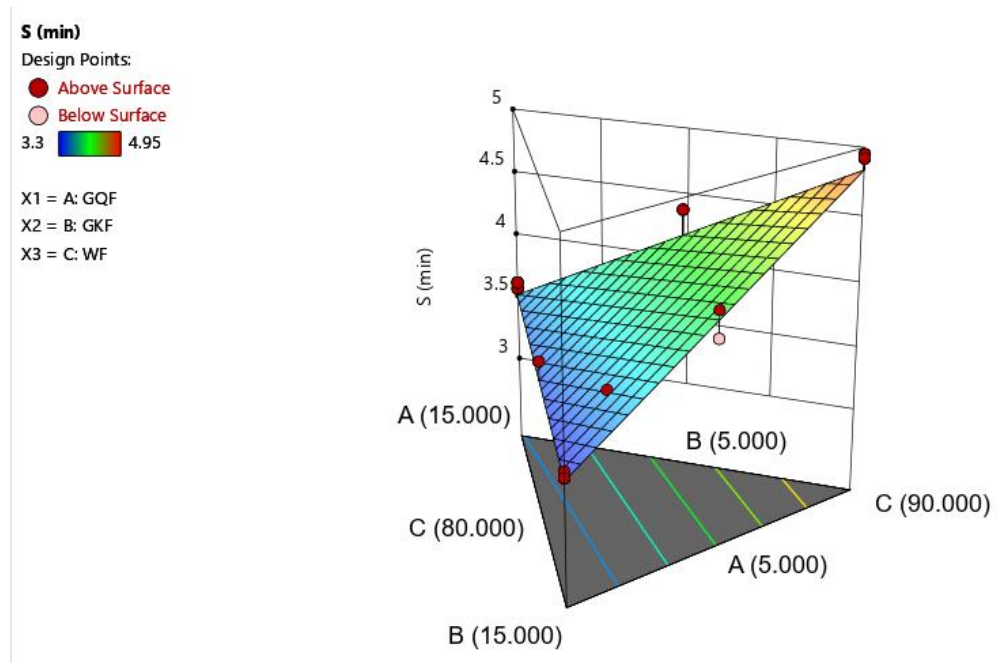
**c) Análisis farinográfico de Estabilidad (S) de la masa:**

En lo referente a la estabilidad (S) de la masa, el análisis de varianza (ANOVA) presentado en el Anexo II – Tabla 2G evidenció que el modelo de regresión lineal fue el que mejor describió su comportamiento, considerando como variables los porcentajes de GQF, GKF y WF. Los resultados mostraron que este modelo alcanzó significancia estadística con un nivel de confianza del 95 % ( $p < 0,05$ ) (Anexo II – Tabla 2H). Asimismo, los parámetros lineales individuales evaluados resultaron estadísticamente significativos, lo que confirma la validez del modelo propuesto (Anexo II – Tabla 2I). En consecuencia, el modelo se expresó de la siguiente forma:

$$S = 3.58(A) + 3.36(B) + 4.93(C) - 0.2935(AB) - 0.4621(AC) - 0.7044(BC)$$



**Figura 15.** Superficie de Contorno para la Estabilidad (S) de la mezcla de GQF, GKF y WF.



**Figura 16.** Superficie de respuesta para la Estabilidad (S) de la mezcla de GQF, GKF y WF.

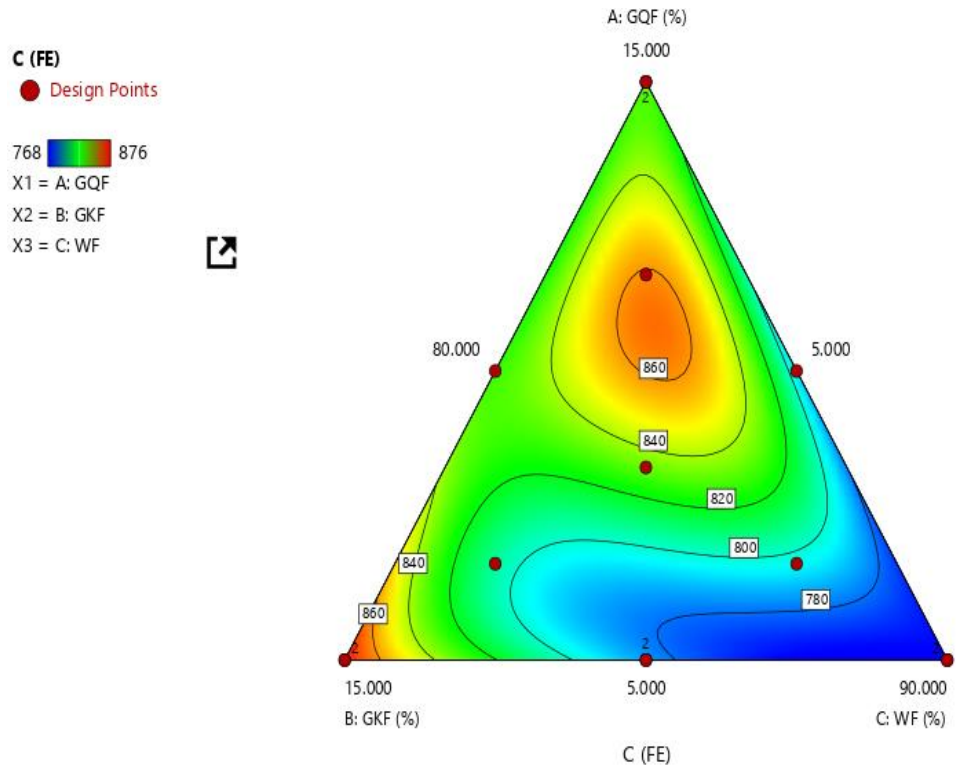
En las Figuras 15 y 16, correspondientes a la superficie de respuesta, se observa que al aumentar la proporción de harina de trigo y reducir la participación de

harinas germinadas de quinua y kiwicha, la estabilidad de la masa tiende a incrementarse. En contraste, cuando se eleva el contenido de harinas germinadas, la estabilidad disminuye de forma evidente. Los tratamientos analizados presentaron valores de estabilidad entre 3,33 y 4,95 minutos, los cuales resultan inferiores a los registrados por Rodríguez-Sandoval et al. (2012) para harina de trigo al 100 % (8,58 min). Esta menor estabilidad refleja la debilidad estructural de la red de gluten durante el proceso de mezclado, como lo señalaron Park y Morita (2005). Asimismo, estudios previos han evidenciado que la sustitución parcial de harina de trigo por quinua ocasiona una reducción de la estabilidad farinográfica, coincidiendo con lo reportado por Morita et al. (2001).

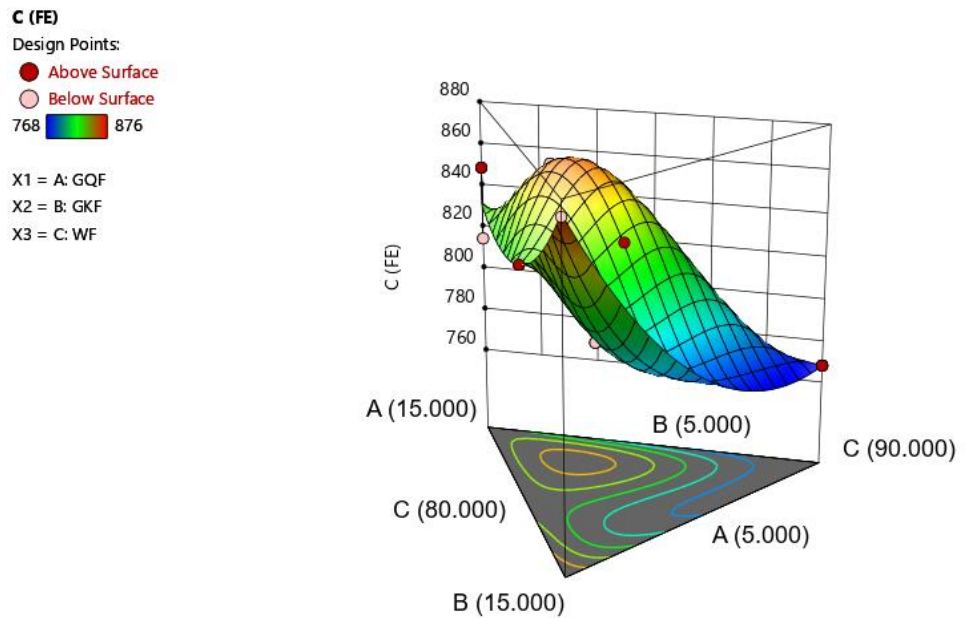
**d) Análisis farinográfico de Consistencia (C) de la masa:**

El análisis estadístico de la variable consistencia (C) de la masa, mostrado en el Anexo II – Tabla 2J, permitió describir su comportamiento en función de los porcentajes de GQF, GKF y WF. Se evaluaron diferentes modelos de regresión —lineal, cuadrático, cúbico especial, cúbico y cuadrático especial— cuyos valores de p fueron 0,0012; 0,3768; 0,1298; 0,0247 y 0,0197, respectivamente. Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) obtenidos fueron 0,65; 0,67; 0,73; 0,91 y 0,91, en ese orden. Entre estos, el modelo cúbico fue seleccionado por evidenciar significancia estadística al 95 % de confianza ( $p < 0,05$ ) (Anexo II – Tabla 2K). Finalmente, en el Anexo II – Tabla 2L se presentan los coeficientes derivados para expresar dicho modelo:

$$C = 831.93(A) + 874.43 + 767.93(C) - 101.35(AB) - 36.85(AC) - 145.28(BC)$$



**Figura 17.** Superficie de Contorno para la Consistencia (C) de la mezcla de GQF, GKF y WF.



**Figura 18.** Superficie de Respuesta para la Consistencia (C) de la mezcla de GQF, GKF y WF.



Las figuras de superficie de respuesta y de contorno (Figuras 17 y 18) evidencian que, al reducir el porcentaje de harina de trigo y aumentar la proporción de harinas germinadas de kiwicha y quinua, la consistencia de la masa se incrementa. En cambio, cuando disminuye el contenido de estas harinas germinadas, los valores de consistencia en la masa tienden a descender.

La consistencia, permite determinar la capacidad de formar una masa y a la vez indicar si la masa está en los límites de las 500 FE, esta característica junto a la absorción de agua deducen el agua necesaria que requiere una harina para llegar al límite de las 500 FE. Si bien los resultados de consistencia están por encima de los límites de las 500 FE las características de las propiedades de las harinas de grano germinado provocan la variación de la consistencia de acuerdo con el porcentaje de sustitución viéndose afectado en la capacidad de absorción de agua y sobre todo en la formación del gluten de la masa.

**e) Análisis Temperatura de Gelatinización (GT):**

El análisis de varianza de la temperatura de gelatinización (GT), descrito en el Anexo II – Tabla 2M, permitió evaluar su comportamiento en función de los porcentajes de GQF, GKF y WF. Los modelos de regresión lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico reportaron valores de p de 0.0071, 0.5535, 0.1420 y 0.1777, respectivamente. El modelo lineal fue considerado el más adecuado, al presentar significancia estadística con un nivel de confianza del 95% ( $p < 0.05$ ) (Anexo II – Tabla 2N). Sin embargo, aunque se evaluó el modelo cuadrático, el ANOVA indicó que este ajuste no fue significativo, lo cual confirmó que únicamente los parámetros lineales mostraron relevancia, mientras que los términos cuadráticos y cúbicos no resultaron estadísticamente significativos (Anexo II – Tabla 20). El modelo matemático se expresó de la siguiente manera:

$$GT = 75.79(A) + 76.82(B) + 83.67(C)$$

Component Coding: Actual

GT (°C)

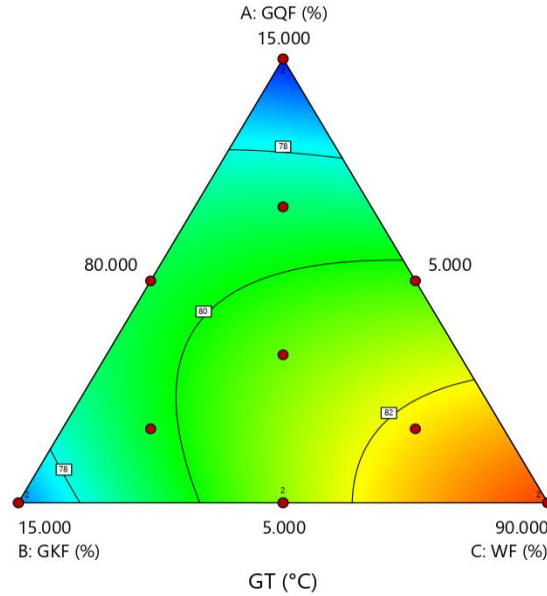
● Design Points

75.7  84.2

X1 = A: GQF

X2 = B: GKF

X3 = C: WF



**Figura 19.** Superficie de Contorno para la Temperatura de Gelatinización (GT) de la mezcla de GQF, GKF y WF.

GT (°C)

Design Points:

● Above Surface

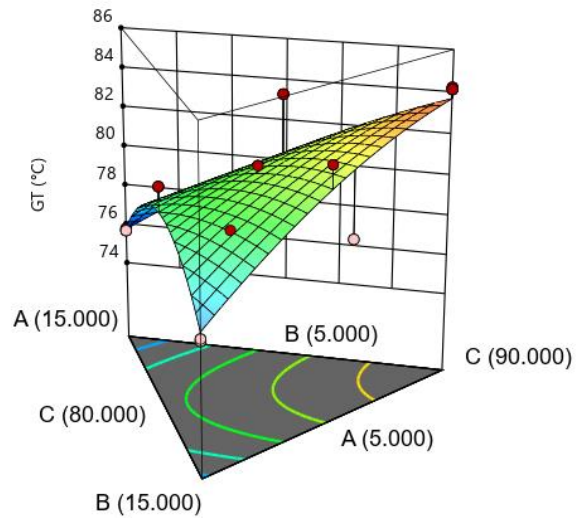
○ Below Surface

75.7  84.2

X1 = A: GQF

X2 = B: GKF

X3 = C: WF



**Figura 20.** Superficie de Respuesta para la Temperatura de Gelatinización (GT) de la mezcla de GQF, GKF y WF.

Las superficies de respuesta y de contorno (Figuras 19 y 20) muestran el comportamiento de la GT en relación con las proporciones de GQF, GKF y WF; sin embargo, el modelo matemático no presentó significancia estadística para esta variable. Los valores obtenidos en los 14 tratamientos variaron entre 75,7 y 84,1 °C.

Montoya et al. (2012) señalaron que la temperatura inicial de gelatinización del trigo fue de 74,85 °C, valor que difiere en menos de 1 °C respecto al obtenido en este estudio. El proceso de gelatinización conlleva un incremento en el hinchamiento, la solubilidad y la capacidad de absorción de agua, lo que refleja el grado de interacción de las cadenas de almidón en regiones amorfas y cristalinas. A temperaturas más altas, se observa una mayor hidratación y solubilidad, atribuida al contenido elevado de grupos fosfato en la amilopectina, los cuales generan repulsión entre cadenas adyacentes y debilitan los enlaces en la zona cristalina del gránulo (Hoover, 2001).

En síntesis, las altas temperaturas de gelatinización registradas en las formulaciones analizadas respaldan su potencial aplicación en la producción de alimentos que requieren ser sometidos a procesos térmicos intensos.

**f) Análisis Gelatinización Máxima (GM):**

En la variable de gelatinización máxima (GM) de la masa, el análisis de varianza (Anexo II – Tabla 2P) mostró que los modelos de regresión, en función de los porcentajes de GQF, GKF y WF, arrojaron valores de p de 0,0000 para el modelo lineal, 0,0165 para el cuadrático, 0,3456 para el cúbico especial y 0,1551 para el cúbico. Los coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) fueron de 0,98, 0,99, 0,99 y 0,99, respectivamente. El modelo cuadrático fue el seleccionado, al evidenciar significancia estadística con un nivel de confianza del 95% (p < 0,05), mientras que los parámetros lineales individuales y algunas interacciones resultaron significativos, salvo la interacción AC (Anexo II – Tabla 2R). De este modo, la gelatinización máxima fue descrita por un modelo matemático específico:

$$GM = 264.91(A) + 307.22(B) + 428.60(C) - 45.95AB - 33.72BC$$

Las superficies de respuesta y de contorno (Figuras 21 y 22) muestran que un mayor porcentaje de harina de trigo, junto con una disminución en las proporciones de harinas germinadas de quinua y kiwicha, favorece el incremento de la GM. En contraste, al aumentar la proporción de pseudocereales germinados, se observa una reducción de este parámetro. De manera consistente, el ANOVA confirma que la interacción entre las tres harinas evaluadas tiene un efecto estadísticamente significativo, influyendo directamente en la gelatinización máxima de la masa.

Component Coding: Actual

GM (AU)

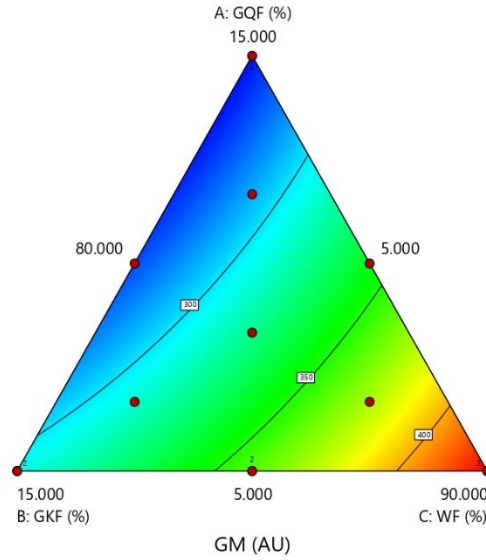
● Design Points

262 428

X1 = A: GQF

X2 = B: GKF

X3 = C: WF



**Figura 21.** Superficie de Contorno para la Gelatinización máxima (GM) de la mezcla de GQF, GKF y WF.

GM (AU)

Design Points:

● Above Surface

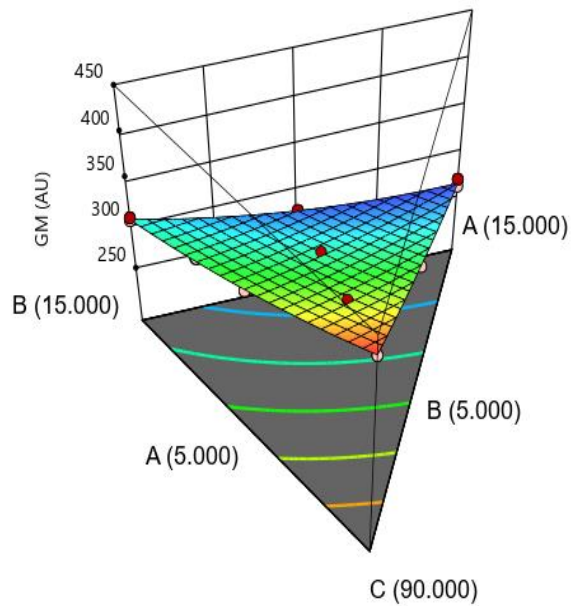
○ Below Surface

262 428

X1 = A: GQF

X2 = B: GKF

X3 = C: WF



**Figura 22.** Superficie de Respuesta para la Gelatinización máxima (GM) de la mezcla harina de GQF, GKF y WF.

**g) Análisis Resistencia a la Extensión (RE):**

El análisis estadístico de la resistencia a la extensión (RE), presentado en el Anexo II – Tabla 2S, consideró diferentes modelos de regresión en función de los porcentajes de GQF, GKF y WF. Los valores de p obtenidos fueron 0.0001 para el modelo lineal, 0.2833 para el cuadrático, 0.6585 para el cúbico especial y 0.0194 para el cúbico, con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de 0.81, 0.83, 0.82 y 0.95, respectivamente.

En este análisis se determinó que el modelo lineal fue el más apropiado, ya que presentó significancia estadística con un nivel de confianza del 95% ( $p < 0,05$ ) (Anexo II – Tabla 2T). Asimismo, los parámetros lineales individuales mostraron resultados estadísticamente significativos (Anexo II – Tabla 2U). A partir de estos hallazgos, se estableció el modelo matemático que representa el comportamiento de la resistencia a la extensión:

$$RE = 821.16(A) + 944.72(B) + 1377.15(C) - 759.25(AC)$$

Las gráficas de superficie y de contorno (Figuras 23 y 24) evidencian que un mayor contenido de harina de trigo, acompañado de una reducción en las harinas germinadas de quinua y kiwicha, incrementa la resistencia a la extensión. En contraste, al aumentar la proporción de pseudocereales germinados, este valor tiende a disminuir. Los tratamientos analizados presentaron un rango de 733 a 1100 BU.

Component Coding: Actual

RE (BU)

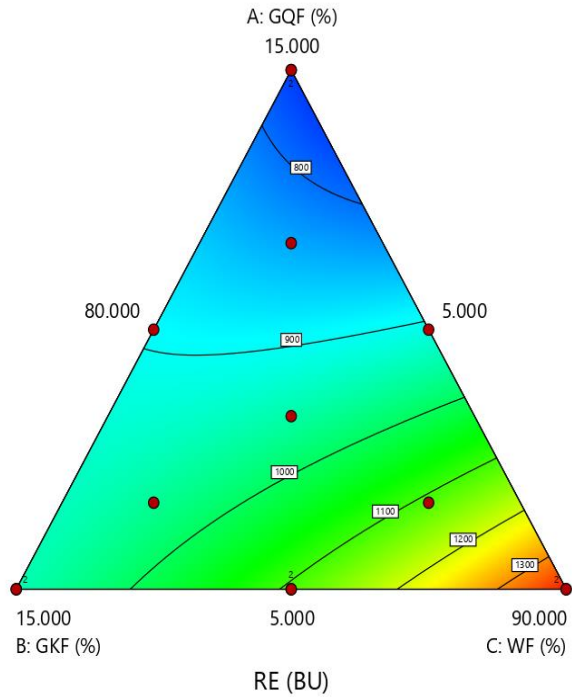
● Design Points

727  1393

X1 = A: GQF

X2 = B: GKF

X3 = C: WF



**Figura 23** Superficie de Contorno de la Resistencia a la Extensión (RE) de la mezcla de GQF, GKF y WF.

RE (BU)

Design Points:

● Above Surface

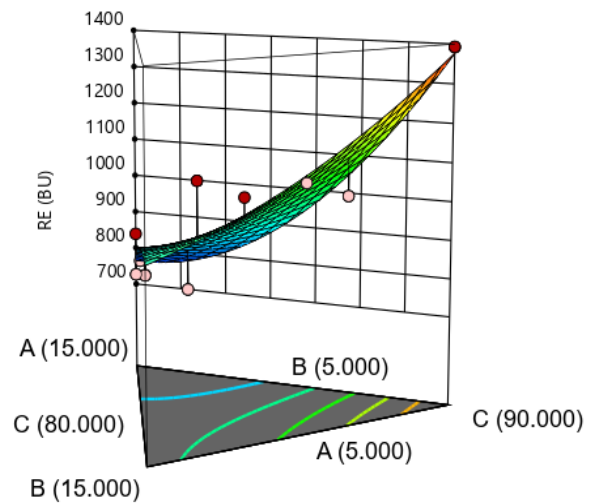
○ Below Surface

727  1393

X1 = A: GQF

X2 = B: GKF

X3 = C: WF



**Figura 24.** Superficie de Respuesta de la Resistencia a la Extensión (RE) de la mezcla de GQF, GKF y WF.

**h) Análisis de Extensibilidad (E) de la masa:**

En el caso de la extensibilidad (E) de la masa, el ANOVA (Anexo II – Tabla 2V) analizó diversos modelos de regresión considerando los porcentajes de GQF, GKF y WF. Los modelos lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico mostraron significancia estadística ( $p < 0,05$ ) (Anexo II – Tabla 2W), con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de 0,43; 0,78; 0,91 y 0,99, respectivamente. Pese a que algunos valores de  $R^2$  fueron moderados, se eligió el modelo cuadrático para interpretar los resultados de extensibilidad.


Respecto a los parámetros, tanto los lineales como sus interacciones resultaron estadísticamente significativos, mientras que los términos cuadráticos y cúbicos no mostraron significancia (Anexo II – Tabla 2X). En consecuencia, el modelo matemático que representa la extensibilidad se formuló de la siguiente manera:

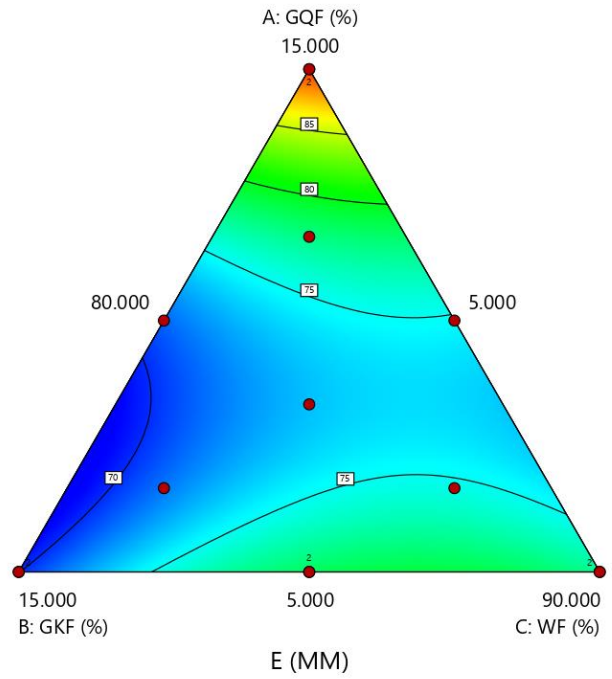
$$E = 90.96(A) + 69.93(B) + 77.17(C) - 36.37AB - 36.94AC$$

Las gráficas de respuesta y contorno (Figuras 25 y 26) evidencian que, al aumentar la proporción de harina de trigo y disminuir la de harinas germinadas de quinua y kiwicha, la masa presenta mayor extensibilidad. Esto se relaciona con la acción de las proteínas del trigo, gliadina y glutenina, que en presencia de agua y energía forman el gluten: la gliadina contribuye a la extensibilidad y la glutenina a la elasticidad. Sin embargo, al incrementarse la resistencia a la extensión y reducirse la extensibilidad, el efecto se asocia al mayor nivel de sustitución, lo que ocasiona masas más duras y cortas, en contraste con las elaboradas con trigo, donde la menor extensibilidad se explica por la reducción de la fracción de gluten (Iram, 2010).




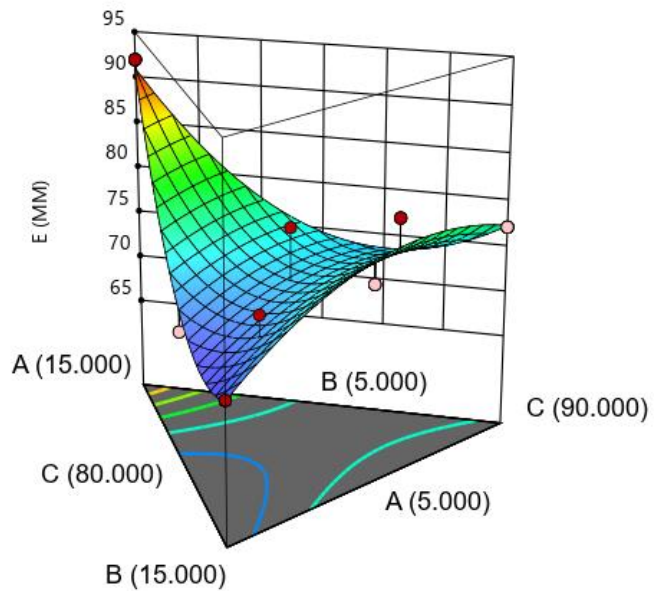
Component Coding: Actual

**E (MM)**  
● Design Points  
69  92  
X1 = A: GQF  
X2 = B: GKF  
X3 = C: WF



**Figura 25.** Superficie de Contorno de Extensibilidad (E) de la mezcla de GQF, GKF y WF.

**E (MM)**  
Design Points:  
● Above Surface  
○ Below Surface  
69  92  
X1 = A: GQF  
X2 = B: GKF  
X3 = C: WF



**Figura 26.** Superficie de Respuesta de Extensibilidad (E) de la mezcla de GQF, GKF y WF.

**i) Optimización de los parámetros reológicos:**

A partir de los análisis estadísticos de los parámetros reológicos y considerando los modelos ajustados para absorción de agua (AA), tiempo de desarrollo (DT), estabilidad (S), consistencia (C), temperatura de gelatinización (GT), máxima gelatinización (GM), resistencia a la extensión (RE) y extensibilidad (E), se aplicó el método de optimización conjunta mediante el software Design-Expert v. 12.0. Para ello se asignó un peso equivalente a cada variable de respuesta, estableciendo como criterio la maximización en los casos de AA, S, C, GT, GM, RE y E, mientras que para DT se planteó la minimización. Bajo estas condiciones, se buscó identificar la formulación óptima (Tabla 14), tomando como base los parámetros reológicos..

**Tabla 14.**

Formulaciones optimizadas en base a los parámetros reológicos a partir de la mezcla de harinas obtenidas de granos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa var. Pasankalla*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Centenario*).

Formulación de las mezclas Optimizadas				Parámetros Reológicos						FD
T	GQF (%)	GKF (%)	WF (%)	AA (%)	DT (min)	S (min)	C (FE)	GT (°C)	GM (AU)	
1	5.000	5.000	90.000	65.095	3.899	4.834	767.929	83.671	427.193	0.90
2	8.134	11.866	80.000	61.694	3.185	3.358	839.190	79.143	283.272	0.43

AA: Absorción de Agua, DT: Tiempo de Desarrollo, S: Estabilidad, C: Consistencia, GT: Temperatura de Gelatinización, GM: Máxima Gelatinización, RE: Resistencia a la extensión, E: Extensibilidad, FE: Unidades Farinograficas, AU: Unidades Amilograficas, BU: Unidades Brabender

**4.6. Optimizar la sustitución de harina de trigo por harina de granos germinados de kiwicha y quinua para la elaboración de galletas en función del contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante.**

Antes de la determinación del contenido de compuestos bioactivos, ácido fítico y la actividad antioxidante, se elaboraron las galletas siguiendo el diagrama de bloques mostrado en la Figura 10, de acuerdo con los tratamientos definidos en la

matriz experimental de la Tabla 6. Una vez obtenidas las muestras, se procedió con los análisis según lo establecido en la sección de Metodología.

En la Tabla 15 se muestran los resultados de los tratamientos experimentales, donde se consignan los valores de capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC), expresados en  $\mu\text{moles TE/mg}$ , el contenido de compuestos fenólicos libres (TPC) en  $\text{mg GAE/100 g}$ , el nivel de ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA) en  $\text{mg/100 g}$  de materia seca y la concentración de ácido fítico expresada en  $\text{g/100 g}$ .

**Tabla 15.** Matriz de resultados con la capacidad antioxidante, contenido de compuestos fenólicos libres y contenido de ácido fítico en los tratamientos experimentales de las galletas elaboradas a partir de harinas obtenidas de granos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa* var. *Pasankalla*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Centenario*).

Formulaciones Galletas				ORAC <sup>a</sup>		TPC <sup>b</sup>		Ácido fítico <sup>c</sup>		GABA <sup>d</sup>	
T	GQF (%)	GKF (%)	WF (%)	µmoles TE/ mg		mg GAE/100 g		(g/100g)		(g/100g)	
				Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD
1	15	15	70	57.03	±0.31	148.38	±3.80	0.2213	±0.00	18.90	±0.50
2	20	20	60	72.43	±1.17	192.96	±1.69	0.3223	±0.01	20.20	±0.14
3	5	20	75	52.50	±3.32	133.00	±0.68	0.2306	±0.01	20.31	±0.69
4	20	20	60	71.76	±0.23	222.30	±4.16	0.3221	±0.01	20.97	±0.33
5	5	20	75	52.83	±1.41	125.71	±5.56	0.2217	±0.01	21.77	±0.65
6	5	20	75	52.39	±0.42	128.86	±3.74	0.2199	±0.00	21.04	±0.02
7	20	20	60	74.61	±1.64	246.49	±15.01	0.3328	±0.01	19.44	±0.61
8	10	25	65	52.71	±1.20	160.46	±4.87	0.2898	±0.00	12.71	±1.06
9	20	5	75	64.57	±1.36	165.11	±4.65	0.1647	±0.01	19.77	±0.09
10	20	5	75	63.03	±3.04	188.39	±16.35	0.1667	±0.00	20.26	±0.88
11	10	10	80	53.98	±3.36	151.36	±9.06	0.1769	±0.02	17.72	±0.94
12	25	10	65	66.14	±2.16	212.15	±2.73	0.2390	±0.01	18.49	±0.79
13	20	5	75	60.01	±2.17	222.31	±1.08	0.1623	±0.01	20.76	±1.84
14	25	10	65	51.30	±4.32	175.10	±3.36	0.2224	±0.01	13.27	±0.22
<b>Control</b>				<b>25.50</b>	<b>±2.80</b>	<b>39.44</b>	<b>±2.81</b>	<b>0.04</b>	<b>0.00</b>	<b>13.27</b>	<b>±0.22</b>

(a) ORAC: capacidad de absorción de radicales de oxígeno.

(b) TPC: compuestos fenólicos libres

(c) Acido Fítico: anti nutriente

(d) GABA:

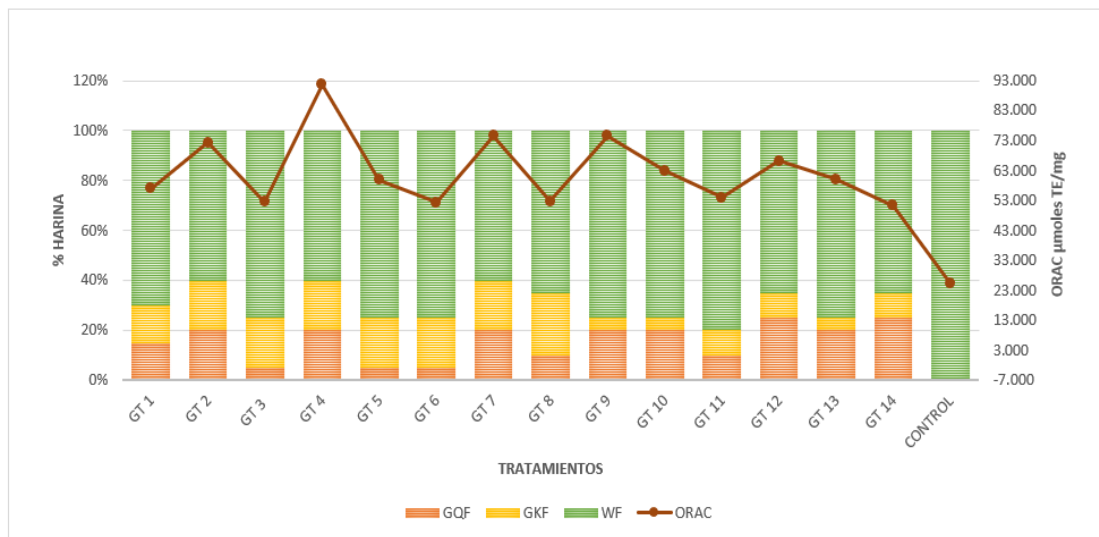
GQF: Harina de Quinoa germinada

GKF: Harina de kiwicha germinada

WF: Harina de trigo

Fuente: Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición – ICTAN España

**A. Análisis estadístico Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC):** Como se puede observar (Anexo III - Tabla 3A), los resultados no se ajustan a los modelo lineal y cuadrático, al presentar un p-valor mayor de 0.05 (95% de confiabilidad) y un  $R^2= 0.2319$  En la Figura 27 se presenta el comportamiento de la ORAC debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha y quinua, observando que la incorporación de estas harinas en la mezcla influye positivamente en contenido de ORAC, destacando el GT4.



**Figura 27.** Comportamiento de la Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GOF) Fuente: Tabla 15

Dada la falta de ajuste en los modelos lineales y cuadráticos, se aplicó la prueba de rangos múltiples. En la Tabla 16 se presenta el test de Tukey estandarizado para la capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC), en función del porcentaje de harina germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GOF). Los resultados indican que las medias con la misma letra no presentan diferencias significativas, siendo el tratamiento 4 el que mostró la diferencia estadística para un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$  y con un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0,9517$ .

**Tabla 16.**

Tukey's standarizado de la Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF).

Tratamiento	GQF (%)	GKF (%)	WF (%)	Mean
4	20	20	60	91.76 <sup>a</sup> ±1.94
9	20	5	75	74.57 <sup>b</sup> ±5.01
7	20	20	60	74.17 <sup>b</sup> ±3.12
2	20	20	60	72.43 <sup>b</sup> ±6.25
12	25	10	65	66.14 <sup>bc</sup> ±5.52
10	20	5	75	63.03 <sup>bcd</sup> ±5.02
13	20	5	75	60.01 <sup>cd</sup> ±4.08
5	5	20	75	59.83 <sup>cd</sup> ±2.33
1	15	15	70	57.03 <sup>cd</sup> ±1.39
11	10	10	80	53.98 <sup>d</sup> ±2.48
8	10	25	65	52.71 <sup>d</sup> ±1.50
3	5	20	75	52.50 <sup>d</sup> ±6.27
6	5	20	75	52.39 <sup>d</sup> ±0.50
14	25	10	65	51.30 <sup>d</sup> ±4.32
Control	0	0	100	25.50 <sup>d</sup> ±2.80

Fuente: SAS System

Los valores de ORAC obtenidos en los 14 tratamientos de galletas elaboradas con distintas proporciones de GQF, GKF y WF, se muestran en la Tabla 15. Los resultados variaron entre 51,30 y 91,76  $\mu$ moles TE/mg, evidenciando que la modificación en los porcentajes de GQF, GKF y WF influyó directamente en la capacidad antioxidante. El tratamiento F4 registró el valor más alto (91,76  $\mu$ moles TE/mg) con una formulación de 20% GQF, 20% GKF y 60% WF, mientras que los tratamientos F9 y F7 alcanzaron 74,57 y 74,17  $\mu$ moles TE/mg, respectivamente.

El análisis farinográfico permitió evaluar la consistencia de la masa, la fuerza necesaria para su mezclado a velocidad constante y la cantidad de agua requerida para alcanzar esa condición. Según Pantanelli (2009), la absorción de agua refleja el volumen necesario para lograr una consistencia de 500 Unidades Brabender (UB) durante el amasado. Los resultados del análisis de varianza mostraron que los modelos de regresión —lineal, cuadrático, cúbico y especial cúbico— presentaron valores de p menores a 0,05, lo que indica significancia

estadística. En consecuencia, se seleccionó el modelo cuadrático por estar más próximo al 95 % de confianza. Asimismo, se comprobó que los parámetros lineales y sus interacciones fueron estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ).

El comportamiento del porcentaje de absorción de agua (AA), en función de la proporción de harina de trigo y harinas germinadas de quinua y kiwicha, se observa en las Figuras 9 y 10. Los gráficos muestran que al aumentar la sustitución por harina de trigo y reducir la proporción de pseudocereales germinados, el valor de AA se incrementó. En cambio, al elevar el nivel de quinua y kiwicha germinada, la absorción de agua disminuyó. Los valores registrados oscilaron entre 60,05 % y 65,09 %, resultados que coinciden con lo reportado por Sapirstein, Wu, Koksel y Graf (2018), quienes encontraron valores de 54 % a 66 % en harinas de trigo. Según estos autores, la absorción de agua se relaciona principalmente con el contenido de proteína y arabinoxilano, así como con el tamaño de partícula y el grado de degradación del almidón.

La sustitución parcial de harina de trigo genera un efecto favorable en el contenido de ORAC, lo que demuestra su potencial en la elaboración de galletas con ingredientes alternativos. De acuerdo con Vierci y Ferro (2018), este insumo puede ser reemplazado por harinas como la de quinua, amaranto o incluso por derivados de frutas, con el propósito de obtener productos más saludables y adecuados para consumidores celíacos. Sin embargo, la sustitución total de harina de trigo no resulta aconsejable, debido a que este cereal aporta propiedades de elasticidad y textura que son claves en la panificación y pastelería (Giaquinta, Fernández, Curbelo y Rojo, 2017).

#### **B. Análisis estadístico de resultados para la variable dependiente GABA.**

El análisis del contenido de GABA en las galletas (Anexo III – Tabla 3B) consideró diferentes modelos de regresión según los porcentajes de harina de kiwicha germinada (GKF), quinua germinada (GQF) y trigo (WF) utilizados en la formulación. Los valores de  $p$  obtenidos fueron de 0,8240 para el modelo lineal y 0,0037 para el cuadrático. Por ello, se optó por el modelo cuadrático, ya que presentó significancia estadística al 95% de confianza ( $p < 0,05$ ) y un coeficiente de correlación elevado. Cabe señalar que los parámetros lineales individuales no resultaron significativos (Anexo III – Tabla 3C). Los

coeficientes del modelo matemático correspondiente al comportamiento del GABA se muestran en el Anexo III – Tabla 3D.

Cabe destacar que los parámetros lineales individuales no fueron estadísticamente significativos (Anexo III – Tabla 3C). Finalmente, los coeficientes correspondientes al modelo matemático que describe el comportamiento del GABA se presentan en el Anexo III – Tabla 3D, quedando expresados de la siguiente forma:

$$GABA = 179.69AB + 154.65AC + 161.99BC$$

Los coeficientes con signo positivo en el modelo indican un efecto sinérgico, lo que significa que la interacción entre los ingredientes produce una respuesta superior cuando se combinan. En contraste, los coeficientes con signo negativo reflejan un efecto antagónico, es decir, una disminución en la respuesta como consecuencia de la combinación de los factores (Cho et al., 2009).

Component Coding: Actual

Highs/Lows inverted by U\_Pseudo coding

GABA (g/100g)

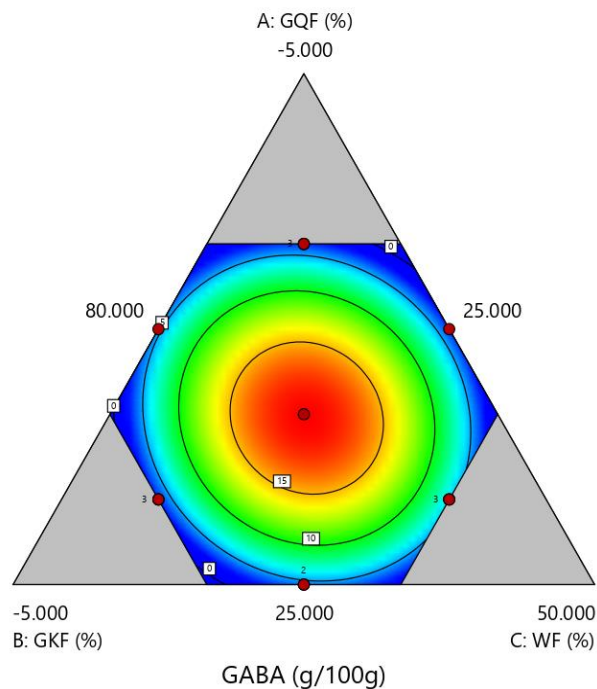
● Design Points

2.44031  17.7852

X1 = A: GQF (%)

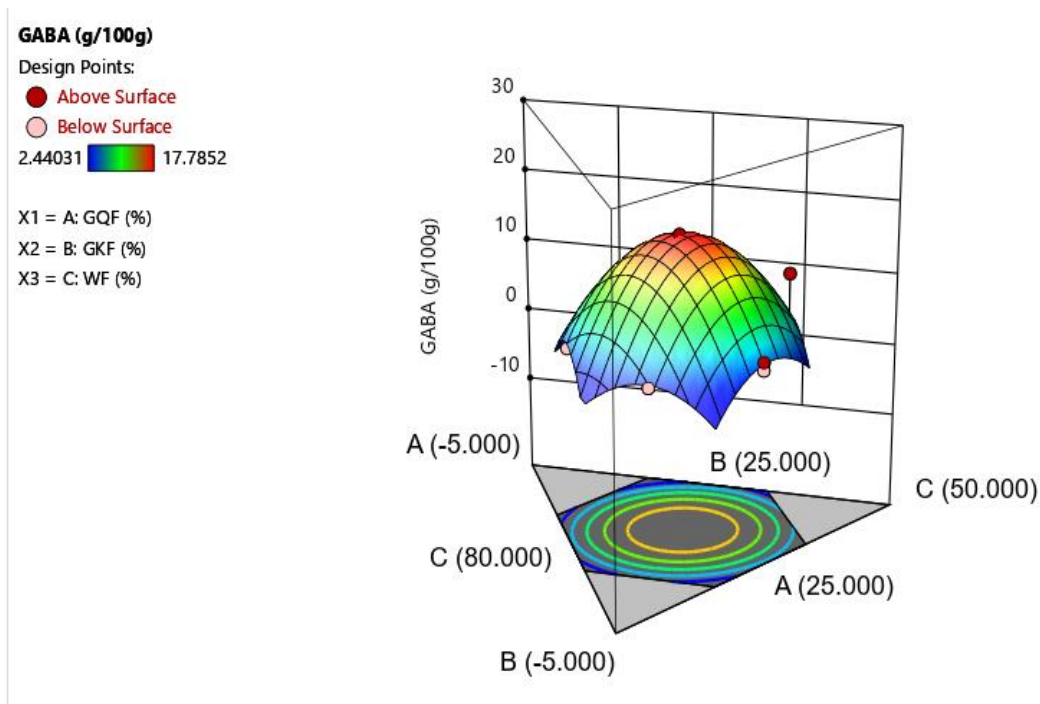
X2 = B: GKF (%)

X3 = C: WF (%)



**Figura 28.** Superficie de Contorno para GABA – galleta a base de GQF, GKF y WF.

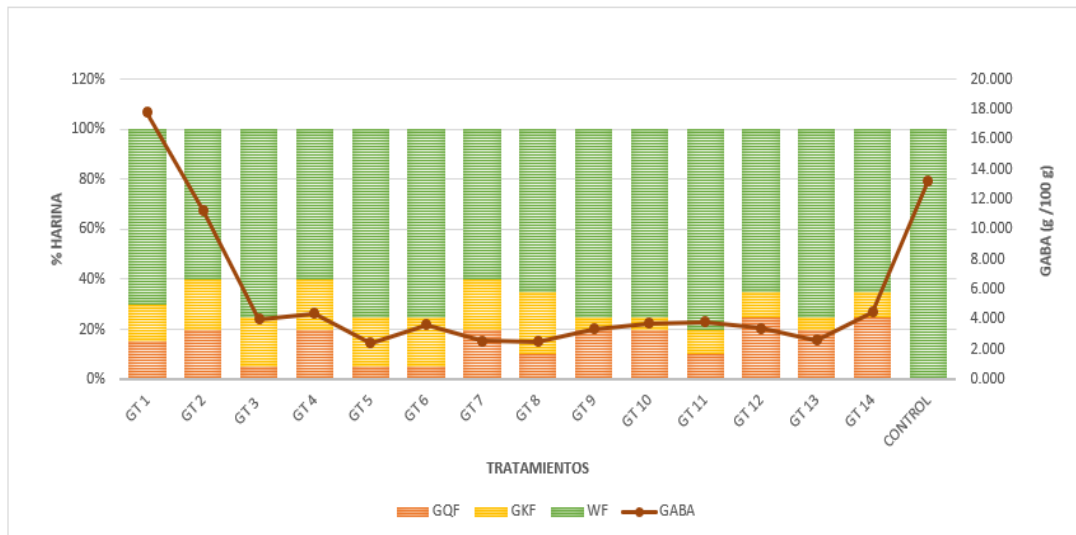




**Figura 29.** Superficie de respuesta para GABA – galleta a base de GQF, GKF y WF.

Los resultados del contenido de GABA en los 14 tratamientos de galletas elaboradas con diferentes proporciones de GQF, GKF y WF, se presentan en la Tabla 15. Los valores obtenidos fluctuaron entre 2,44 y 17,79 g/100 g, lo que evidencia que la variabilidad en los porcentajes de las harinas permitió una exploración integral del comportamiento de esta variable en las formulaciones. El tratamiento F1 alcanzó el valor más alto de GABA (17,79 g/100 g), correspondiente a una mezcla de 15% GQF, 15% GKF y 70% WF, seguido del F2, con un contenido de 11,26 g/100 g (Figura 30).

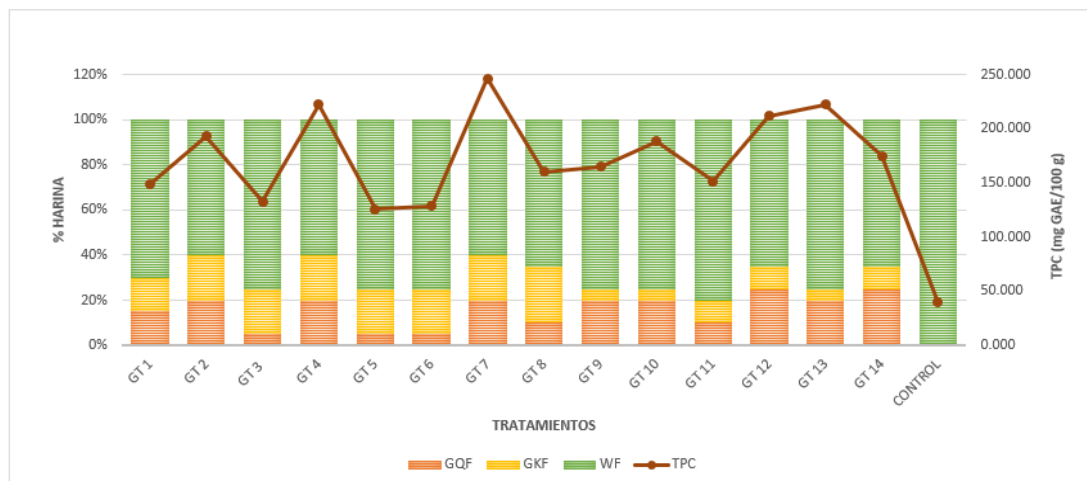
Las Figuras 30 y 31 muestran los intervalos de proporción de GQF, GKF y WF que favorecen la concentración de GABA en las galletas. La zona destacada en color rojo oscuro indica que los niveles más altos de GABA se alcanzan cuando los porcentajes de las tres harinas se encuentran en proporciones intermedias dentro de la matriz experimental.



**Figura 30.** Comportamiento de GABA debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)  
Fuente: Tabla 15

**C. Análisis estadístico de resultados para la variable dependiente compuestos fenólicos libres (TPC)**

Según lo observado (Anexo III - Tabla 3E), los resultados se ajustaron al modelo lineal, con un valor de p menor a 0.05 (95% de confianza) y un R<sup>2</sup> de 0.6086. En la Figura 31 se muestra cómo el contenido de GABA varía con el porcentaje de harina germinada de kiwicha y quinua, evidenciándose que la inclusión de estas harinas en la mezcla favorece el aumento de compuestos fenólicos libres (TPC)



**Figura 31.** Comportamiento de TPC debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)  
Fuente: Tabla 15

Debido a que el modelo cuadrático (Anexo III – Tabla 3E) no se ajustó y el modelo lineal presentó un R<sup>2</sup> inadecuado, se aplicó la prueba de rangos múltiples. En la Tabla 17 se aprecia el Tukey estandarizado para los compuestos fenólicos libres (TPC) en función del porcentaje de harina germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF). Los resultados muestran que las medias con la misma letra no difieren significativamente, identificándose al tratamiento 7 como el que presenta la diferencia, con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05\%$  y un R<sup>2</sup> de 0.9969.

**Tabla 17.**

Tukey's standarizado de la Capacidad de absorción de compuestos fenólicos libres (TPC) debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF).

Tratamiento	GQF (%)	GKF (%)	WF (%)	Mean
7	20	20	60	246.49 <sup>a</sup> ±15.01
13	20	5	75	222.31 <sup>ab</sup> ±1.08
4	20	20	60	222.30 <sup>ab</sup> ±4.16
12	25	10	65	212.15 <sup>bc</sup> ±2.73
2	20	20	60	192.96 <sup>cd</sup> ±1.69
10	20	5	75	188.39 <sup>cde</sup> ±16.35
14	25	10	65	175.10 <sup>def</sup> ±3.36
9	20	5	75	165.11 <sup>fe</sup> ±4.65
8	10	25	65	160.46 <sup>gf</sup> ±4.87
11	10	10	80	151.36 <sup>gh</sup> ±9.06
1	15	15	70	148.38 <sup>gh</sup> ±3.80
3	5	20	75	133.00 <sup>gh</sup> ±0.68
6	5	20	75	128.86 <sup>h</sup> ±3.74
5	5	20	75	125.71 <sup>h</sup> ±5.56
Control	0	0	100	39.44 <sup>i</sup> ±2.81

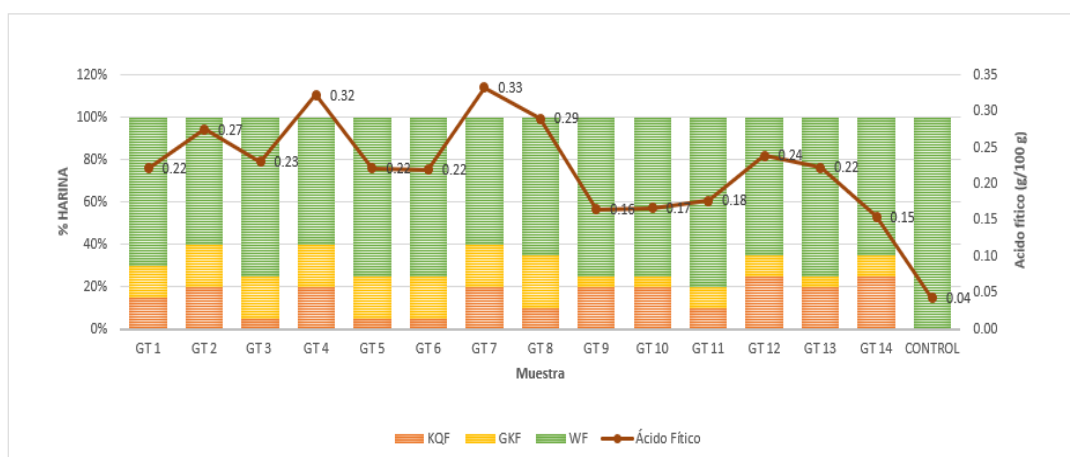
Fuente: SAS System

Al comparar el contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) entre la galleta control (39,44 mg GAE/100 g) y la formulación con el mayor valor (246,49 mg GAE/100 g), se evidenció un incremento de 6,25 veces al reemplazar parcialmente la harina de trigo por harinas germinadas de quinua y kiwicha. Este hallazgo confirma que la germinación contribuye a mejorar la calidad nutricional y a potenciar la presencia de compuestos bioactivos en granos de cereales (Singh, Rehal, Kaur y Jyot, 2015). Durante este proceso, la activación de enzimas endógenas de la semilla facilita la hidrólisis de proteínas de reserva y carbohidratos en moléculas más simples, mientras que, de forma paralela, se generan nuevos constituyentes celulares y compuestos fitoquímicos (Wu, Yang,

Toure, Jin y Xu, 2013). En la misma línea, diferentes investigaciones han demostrado que la germinación incrementa de manera significativa el contenido de compuestos fenólicos en granos (Chen, Yu, Wang, Gu y Beta, 2016; Kim et al., 2012; Van Hung, Maeda, Yamamoto y Morita, 2012).

#### D. Análisis estadístico de resultados para la variable dependiente Ácido Fítico.

De acuerdo con lo mostrado en el Anexo III – Tabla 3F, los resultados se ajustaron al modelo lineal, con un p-valor inferior a 0.05 (95% de confianza) y un  $R^2 = 0.6635$ . En la Figura 32 se observa el comportamiento del ácido fítico en función del porcentaje de harinas germinadas de kiwicha y quinua, evidenciando que la inclusión de estas harinas en la mezcla incide de manera positiva en el contenido de ácido fítico (g/100 g) (Figura 32).



**Figura 32.** Comportamiento de Ácido Fítico debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)  
Fuente: Tabla 15

Debido a que el modelo cuadrático (Anexo III – Tabla 3F) no mostró un ajuste adecuado y el modelo lineal tampoco presentó un  $R^2$  aceptable, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples. En la Tabla 18 se presentan los resultados del Tukey's estandarizado para el ácido fítico en función de los porcentajes de harina germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF), donde se evidenció que las medias con la misma letra no difieren de manera significativa. El tratamiento 7 fue el que marcó la diferencia, con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05\%$  y un  $R^2 = 0.9919$ .

**Tabla 18.**

Tukey's standarizado de Ácido Fítico debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF).

Tratamiento	GQF (%)	GKF (%)	WF (%)	Mean
7	20	20	60	0.33282 <sup>a</sup> ±0.00
4	20	20	60	0.32209 <sup>ab</sup> ±0.01
8	10	25	65	0.28977 <sup>bc</sup> ±0.01
2	20	20	60	0.27490 <sup>cd</sup> ±0.01
12	25	10	65	0.23902 <sup>de</sup> ±0.01
3	5	20	75	0.23064 <sup>e</sup> ±0.01
13	20	5	75	0.22236 <sup>e</sup> ±0.01
5	5	20	75	0.22174 <sup>e</sup> ±0.00
1	15	15	70	0.22126 <sup>e</sup> ±0.01
6	5	20	75	0.21991 <sup>e</sup> ±0.01
11	10	10	80	0.17691 <sup>f</sup> ±0.01
10	20	5	75	0.16667 <sup>f</sup> ±0.02
9	20	5	75	0.16473 <sup>f</sup> ±0.00
14	25	10	65	0.15465 <sup>f</sup> ±0.00
Control	0	0	100	0.04320 <sup>g</sup> ±0.00

Fuente: SAS System

Al comparar el contenido de ácido fítico entre la galleta control (0,0432 g/100 g) y la formulación con el valor más alto (0,3328 g/100 g), se evidenció un incremento de 7,7 veces cuando se reemplazó parcialmente la harina de trigo por harinas germinadas de quinua y kiwicha. Este hallazgo confirma que la inclusión de harinas integrales de pseudocereales contribuye a un mayor contenido mineral en el producto. Sin embargo, este aumento también se asocia con concentraciones elevadas de ácido fítico (InsP6), compuesto que forma sales insolubles con minerales y reduce su biodisponibilidad.

No obstante, existen estrategias para contrarrestar este efecto. Entre ellas destaca el empleo de harinas germinadas, en las cuales la actividad de las fitasas contribuye a degradar el ácido fítico y, en consecuencia, a mejorar la biodisponibilidad de minerales, junto con otras alternativas tecnológicas que pueden aplicarse durante el procesamiento.

### E. Optimización conjunta de las variables respuesta.

Para la optimización conjunta de las variables de respuesta, y tras ajustar los modelos individuales de cada una —capacidad antioxidante medida por ORAC ( $\mu$ moles TE/mg), contenido de compuestos fenólicos (mg GAE/100 g), concentración de GABA (mg/100 g m.s.) y nivel de ácido fítico (g/100 g)—, se aplicó el método de optimización múltiple (Anexo III – Tabla 3G). Este procedimiento requiere establecer previamente los rangos deseables de cada variable y el objetivo planteado, ya sea maximizar o reducir la respuesta.

En este estudio, se estableció como criterio la maximización de TPC, ORAC y GABA, mientras que, en el caso del ácido fítico, se buscó minimizar su concentración. Con dichos parámetros, se ejecutó el algoritmo de optimización mediante el software Design Expert 12.0, el cual generó diversas soluciones, resumidas en la Tabla 19. La mejor alternativa fue la solución número 1, con un valor de deseabilidad de 0,487, siendo el más próximo al valor ideal de 1.

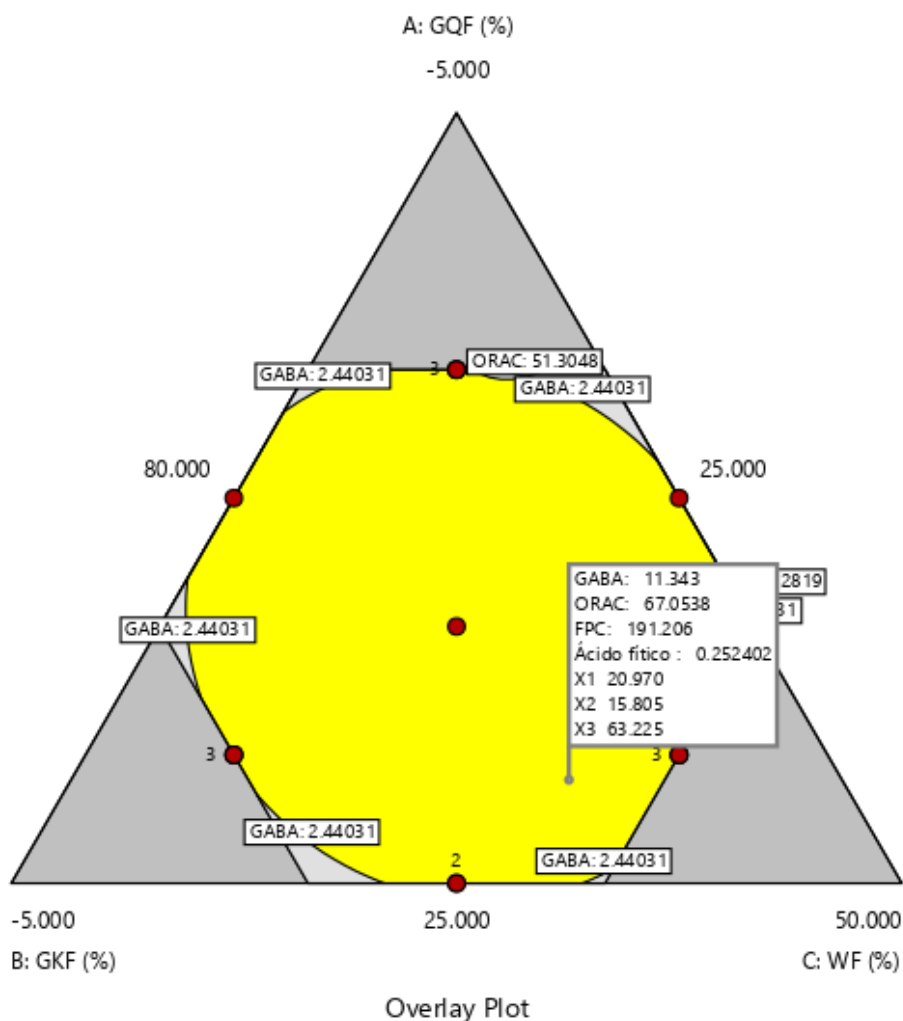
Bajo estas condiciones, la formulación óptima de galletas se estableció con 20,969% de harina de quinua germinada, 15,807% de harina de kiwicha germinada y 63,223% de harina de trigo..

**Tabla 19.**

Formulaciones optimizadas a partir de la mezcla de harinas obtenidas de granos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa var. Pasankalla*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Centenario*).

Fuente: Desing Expert V12

Formulación de las mezclas Optimizadas				Parámetros				FD
T	GQF (%)	GKF (%)	WF (%)	GABA	ORAC	TPC	Ácido Fítico	
1	20.969	15.807	63.223	11.344	67.060	191.212	0.252	0.487
2	17.695	8.078	74.227	10.632	59.969	168.318	0.188	0.408



**Figura 33.** Optimización conjunta de variable para la galleta a partir de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)  
Fuente: Tabla 15

**4.7. Optimizar la sustitución de harina de trigo por harina de granos germinados de kiwicha y quinua para la elaboración de panes de molde en función del contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante.**

Antes de evaluar el contenido de compuestos bioactivos, ácido fítico y la actividad antioxidante, se elaboró pan de molde siguiendo el diagrama de bloques mostrado en la Figura 9, de acuerdo con los tratamientos establecidos en la Tabla 7. Posteriormente, las muestras obtenidas fueron sometidas a los análisis correspondientes descritos en el capítulo de Metodología.

En la Tabla 20 se presenta la matriz de resultados correspondientes a los tratamientos experimentales, donde se incluyen los valores de capacidad de

absorción de radicales de oxígeno (ORAC) expresados en  $\mu\text{moles TE/mg}$ , el contenido de compuestos fenólicos libres (TPC) en  $\text{mg GAE/100 g}$ , el contenido de ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA) en  $\text{mg/100 g}$  de materia seca y el contenido de ácido fítico en  $\text{g/100 g}$ .



Tabla 20:

Matriz de resultados de la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos libres, GABA y contenido de ácido fítico en los tratamientos experimentales de panes de mole elaborados a partir de harinas obtenidas de aranos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa*)

Formulaciones Pan de Molde				ORAC <sup>a</sup>		TPC <sup>b</sup>		Ácido fítico <sup>c</sup>		GABA <sup>d</sup>	
				µmoles TE/mg		mg GAE/100 g		g/100g		g/100g	
T	GQF (%)	GKF (%)	WF (%)	Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD
1	8	8	83	39.05	±0.46	69.13	±2.60	0.32	±0.00	4.12	±0.18
2	15	5	80	40.27	±0.30	89.28	±8.88	0.27	±0.01	3.38	±0.01
3	10	10	80	46.88	±1.10	62.96	±3.77	0.34	±0.01	18.90	±0.50
4	5	15	80	35.77	±1.26	52.94	±0.34	0.34	±0.00	17.77	±0.99
5	5	15	80	33.39	±2.58	56.62	±3.70	0.37	±0.00	20.31	±0.69
6	5	10	85	32.16	±1.70	59.27	±3.07	0.29	±0.00	20.97	±0.33
7	7	12	82	30.81	±1.71	54.78	2.34	0.32	±0.00	21.77	±0.65
8	5	5	90	33.27	±2.12	55.43	±3.91	0.25	±0.00	16.40	±0.87
9	15	5	80	40.05	±2.13	88.63	±1.75	0.30	±0.00	19.44	±0.61
10	10	5	85	38.73	±1.84	103.66	±10.41	0.32	±0.00	12.71	±1.06
11	7	7	87	30.63	±3.06	73.59	±8.96	0.30	±0.01	19.77	±0.09
12	5	10	85	31.59	±4.68	52.97	±2.74	0.30	±0.00	15.54	±0.65
13	12	7	82	39.18	±2.69	71.65	±6.83	0.27	±0.00	17.72	±0.94
14	5	5	90	23.45	±2.55	61.38	±2.20	0.25	±0.01	18.49	±0.79
<b>Control</b>				<b>18.45</b>	<b>±1.82</b>	<b>46.80</b>	<b>±3.47</b>	<b>0.04</b>	<b>±0.00</b>	<b>20.76</b>	<b>±1.84</b>

(a) ORAC: capacidad de absorción de radicales de oxígeno.

(b) FPC: compuestos fenólicos libres

(c) Acido Fítico: anti nutriente

(d) GABA:

GQF: Harina de Quinoa germinada

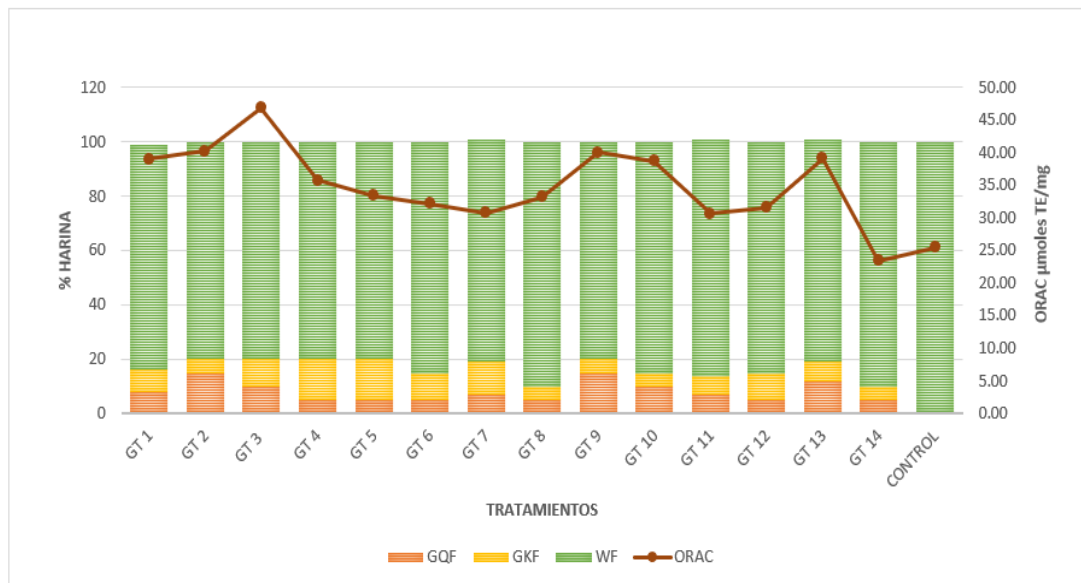
GKF: Harina de kiwicha germinada

WF: Harina de trigo

Fuente: Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición – ICTAN España

### A. Análisis estadístico de resultados para la variable dependiente ORAC

De acuerdo con el Anexo IV - Tabla 4B, los resultados se ajustaron al modelo lineal, con un p-valor menor a 0.05 (95% de confianza) y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.5329. En la Figura 34 se observa cómo el ORAC varía en función del porcentaje de harina germinada de kiwicha y quinua, evidenciando que su incorporación en la mezcla incrementa la capacidad antioxidante, siendo el tratamiento T3 el más destacado.



**Figura 34.** Comportamiento de ORAC debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)  
Fuente: Tabla 15

Debido a que el modelo cuadrático (Anexo IV - Tabla 4A) y el modelo lineal no mostraron un ajuste adecuado, se aplicó la prueba de rangos múltiples. En la Tabla 21 se presenta el análisis de Tukey estandarizado del ORAC en función de los porcentajes de harina germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF). Se evidenció que las medias con la misma letra no presentan diferencias significativas, destacando que el tratamiento 3 fue el que marcó la variación con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05\%$  y un  $R^2$  de 0.9379.

**Tabla 21.**

Tukey's standarizado de ORAC debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF).

Tratamiento	GQF (%)	GKF (%)	WF (%)	Mean
3	10	10	80	46.88 <sup>a</sup> ±1.10
2	15	5	80	40.27 <sup>b</sup> ±0.30
9	15	5	80	40.05 <sup>b</sup> ±2.13
13	12	7	82	39.18 <sup>cb</sup> ±2.69
1	8	8	83	39.05 <sup>cb</sup> ±0.46
10	10	5	85	38.73 <sup>cb</sup> ±1.84
4	5	15	80	35.77 <sup>cbd</sup> ±1.26
5	5	15	80	33.39 <sup>cd</sup> ±2.58
8	5	5	90	33.27 <sup>cd</sup> ±2.12
6	5	10	85	32.16 <sup>d</sup> ±1.70
12	5	10	85	31.59 <sup>d</sup> ±4.68
7	7	12	82	30.81 <sup>d</sup> ±1.71
11	7	7	87	30.63 <sup>d</sup> ±3.06
14	5	5	90	23.45 <sup>e</sup> ±1.55
Control	0	0	100	<b>18.45<sup>e</sup> ±1.82</b>

Fuente: SAS System

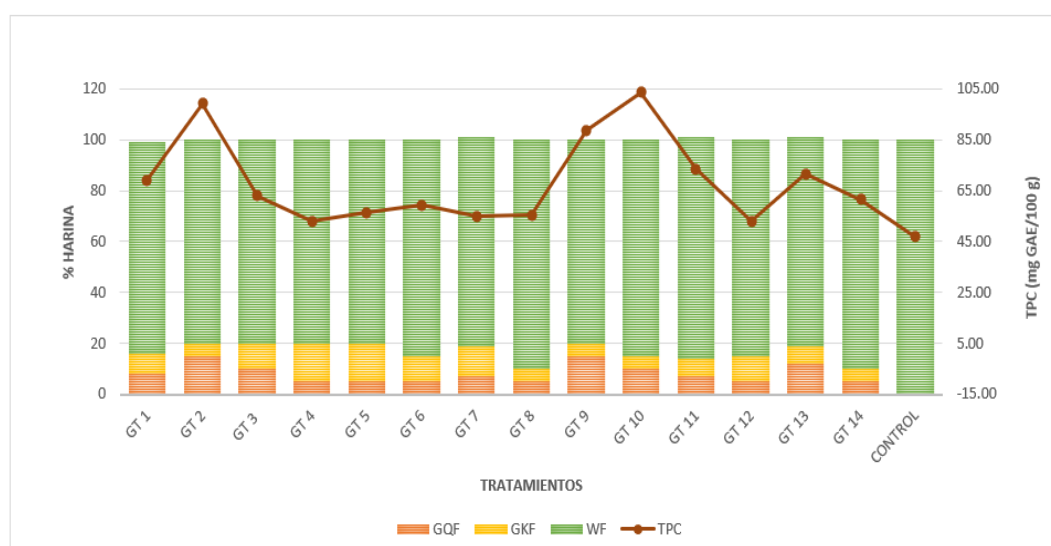
Los valores de ORAC obtenidos en los 14 tratamientos de pan de molde elaborados con diferentes proporciones de harina de kiwicha germinada (GKF), quinua germinada (GQF) y trigo (WF) se muestran en la Tabla 15. Los resultados variaron entre 23,45 y 46,88  $\mu$ moles TE/mg, lo que evidencia que los cambios en las proporciones de GQF, GKF y WF permitieron analizar de manera integral la capacidad antioxidante en las formulaciones. El tratamiento T3 presentó la mayor actividad (46,88  $\mu$ moles TE/mg) con una combinación de 10% GKF, 10% GQF y 80% WF, seguido por T2 y T9, que alcanzaron 40,27 y 40,05  $\mu$ moles TE/mg, respectivamente. Estos hallazgos confirman que el incremento de GQF contribuyó positivamente en los valores de ORAC.

Al comparar el pan de molde control (18,45  $\mu$ moles TE/mg) con la muestra que alcanzó el mayor contenido antioxidante (46,88  $\mu$ moles TE/mg), se evidenció un incremento de 2,54 veces. Este resultado se relaciona con la sustitución parcial de la harina de trigo por harinas germinadas de quinua y kiwicha. Dicho aumento se atribuye al proceso de germinación, que mejora la calidad nutricional de los granos y potencia la presencia de compuestos bioactivos (Singh, Rehal, Kaur y Jyot, 2015). Durante este proceso, las enzimas propias de la semilla se activan, favoreciendo la hidrólisis de proteínas y carbohidratos en moléculas más simples, al mismo tiempo

que se sintetizan nuevos constituyentes celulares y compuestos fitoquímicos (Wu, Yang, Toure, Jin y Xu, 2013).

### B. Análisis estadístico de resultados para la variable dependiente TPC

Como se observa en el Anexo IV - Tabla 4B, los resultados se ajustaron tanto al modelo lineal como al cuadrático, mostrando un p-valor menor de 0,05 (95% de confianza) y coeficientes de determinación de  $R^2=0,7646$  y  $0,8662$ , respectivamente. En la Figura 35 se aprecia que el contenido de TPC se vio influenciado por los porcentajes de harina germinada de kiwicha y quinua, evidenciándose un efecto positivo de estas harinas en la mezcla, donde destacó el tratamiento 10.

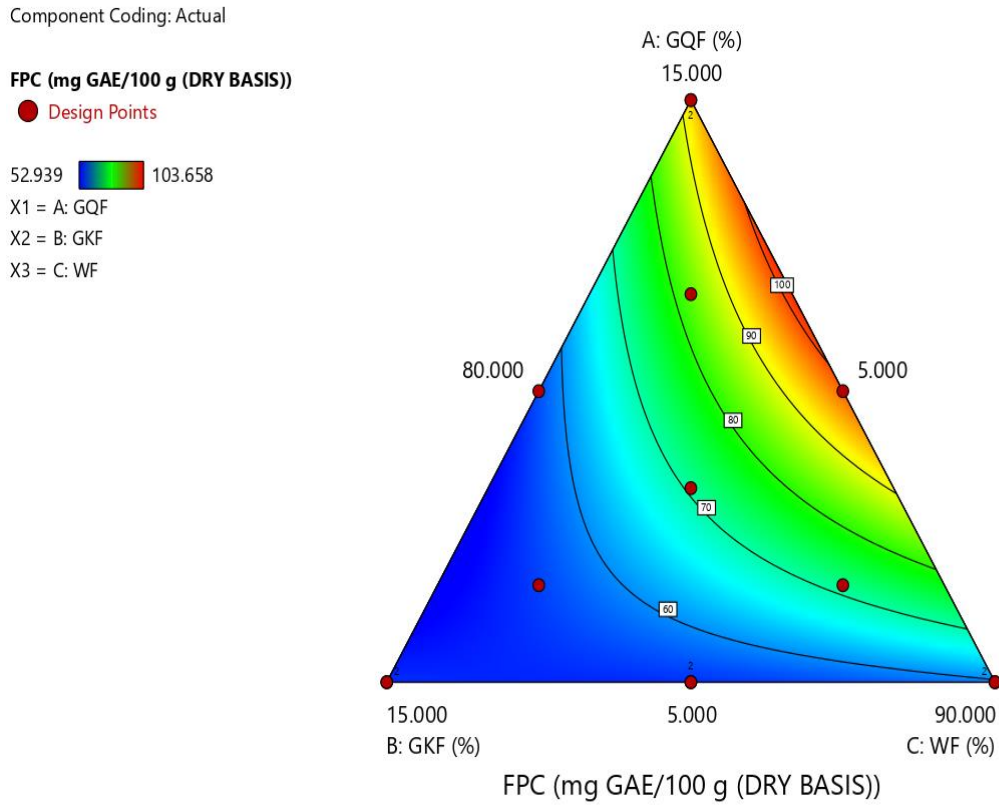


**Figura 35.** Comportamiento de TPC debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)  
Fuente: Tabla 15

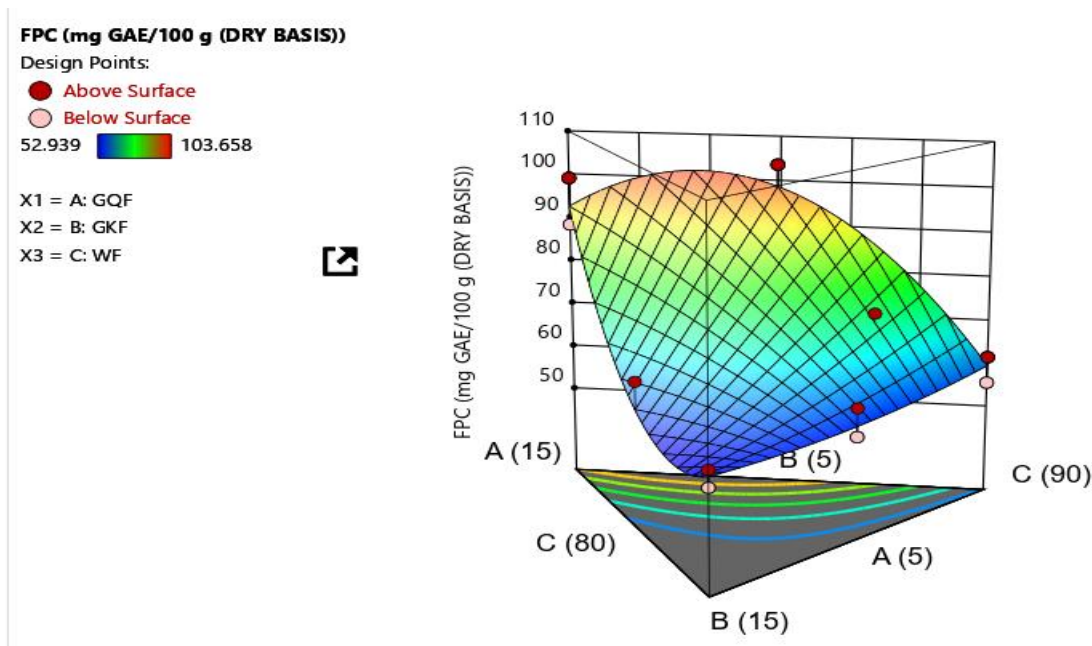
El modelo cuadrático fue considerado el más adecuado al mostrar significancia estadística con un nivel de confianza del 95% ( $p < 0,05$ ) y un coeficiente de correlación (R) alto. En relación con los parámetros lineales y las interacciones, la mayoría resultaron significativos, excepto la interacción BC (Anexo IV – Tabla 4C). Finalmente, los coeficientes que integran el modelo matemático que explica el comportamiento del TPC se presentan en el Anexo IV – Tabla 4D, expresados de la siguiente forma:

$$TPC = 92.72A + 55.23B + 59.43C - 68.64(AB) + 90.35(AC)$$

Los resultados del TPC en los 14 tratamientos de pan de molde con diferentes proporciones de GQF, GKF y WF se presentan en la Tabla 15. Los valores variaron entre 52,94 y 103,66 mg GAE/100 g, lo que refleja que los porcentajes de las harinas permitieron un análisis completo de este parámetro. El tratamiento T10 obtuvo el valor más alto (103,66 mg GAE/100 g) con una formulación de 20% GQF, 5% GKF y 75% WF, seguido del tratamiento F2, que alcanzó 99,28 mg GAE/100 g.



**Figura 36** Superficie de Contorno para TPC – galleta a base de GQF, GKF y WF.



**Figura 37.** Superficie de Respuesta para TPC – galleta a base de GQF, GKF y WF.

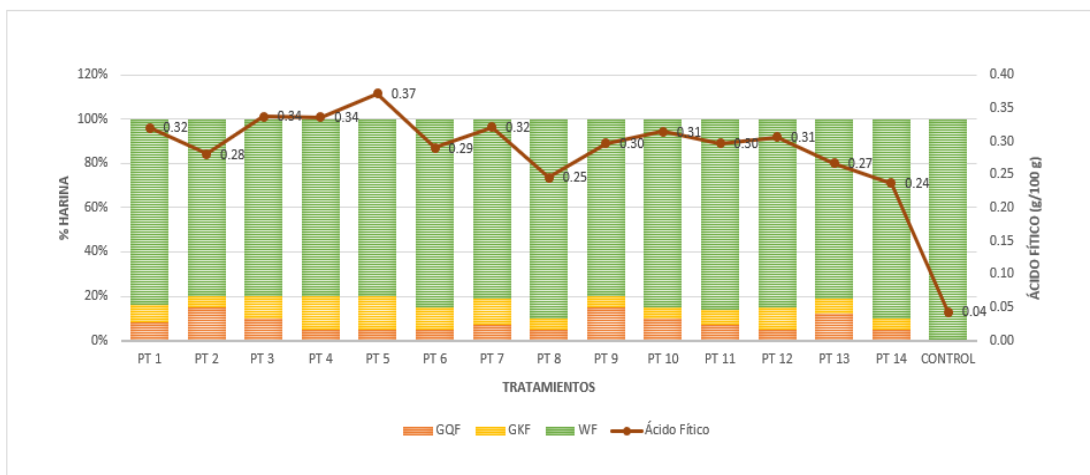
Las Figuras 36 y 37 muestran que el contenido de TPC aumenta a medida que se eleva el porcentaje de harina de quinua germinada (GQF). Los valores más altos se observan en la zona resaltada en color rojo, indicando que los niveles óptimos se logran cuando incrementa la proporción de GQF y, al mismo tiempo, se reduce la cantidad de harina de trigo (WF) y kiwicha germinada (GKF). Al comparar el pan de molde control (46,80 mg GAE/100 g) con el valor máximo registrado (103,66 mg GAE/100 g), se evidenció un incremento de 2,21 veces. Esto confirma que la sustitución parcial de harina de trigo por harinas germinadas de quinua y kiwicha favorece la acumulación de compuestos bioactivos. Este efecto se relaciona con el proceso de germinación, que mejora la calidad nutricional de los granos y estimula la síntesis de metabolitos funcionales (Singh, Rehal, Kaur y Jyot, 2015).

### C. Análisis estadístico de resultados para la variable dependiente ácido fítico.

Como se observa en el Anexo IV – Tabla 4E, los resultados del contenido de ácido fítico se ajustaron al modelo lineal, con un p-valor < 0.05 (95% de confiabilidad) y un  $R^2 = 0.6657$ . En la Figura 38 se representa el comportamiento de esta variable en función del porcentaje de harina germinada de kiwicha y quinua, evidenciándose que la incorporación de estas harinas incrementa el contenido de ácido fítico (g/100 g), siendo el tratamiento T5 el que mostró la mayor influencia.

**Figura 38.** Comportamiento de Ácido Fítico debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)

Fuente: Tabla 15



Dado que el modelo cuadrático no presentó un ajuste adecuado (Anexo IV – Tabla 4E) y que el  $R^2$  obtenido para el modelo lineal no fue del todo satisfactorio, se aplicó la prueba de rangos múltiples de Tukey. En la Tabla 22 se muestran los resultados estandarizados, donde se aprecia que las medias con la misma letra no presentan diferencias significativas. Bajo este análisis, el tratamiento T5 destacó nuevamente, con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05\%$  y un  $R^2$  de 0.9969.

**Tabla 22.**

Tukey's standarizado de Ácido Fólico debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF).

Tratamiento	GQF (%)	GKF (%)	WF (%)	Mean
5	5	15	80	0.37 <sup>a</sup> ±0.00
3	10	10	80	0.34 <sup>b</sup> ±0.01
4	5	15	80	0.34 <sup>cb</sup> ±0.00
7	7	12	82	0.32 <sup>cbd</sup> ±0.00
1	8	8	83	0.32 <sup>ccd</sup> ±0.00
10	10	5	85	0.31 <sup>fed</sup> ±0.00
12	5	10	85	0.31 <sup>feg</sup> ±0.00
9	15	5	80	0.30 <sup>feg</sup> ±0.00
11	7	7	87	0.30 <sup>feg</sup> ±0.01
6	5	10	85	0.29 <sup>fg</sup> ±0.00
2	15	5	80	0.28 <sup>hg</sup> ±0.01
13	12	7	82	0.27 <sup>ih</sup> ±0.00
8	5	5	90	0.25 <sup>ij</sup> ±0.00
14	5	5	90	0.24 <sup>j</sup> ±0.01
Control	0	0	100	0.04 <sup>k</sup> ±0.00

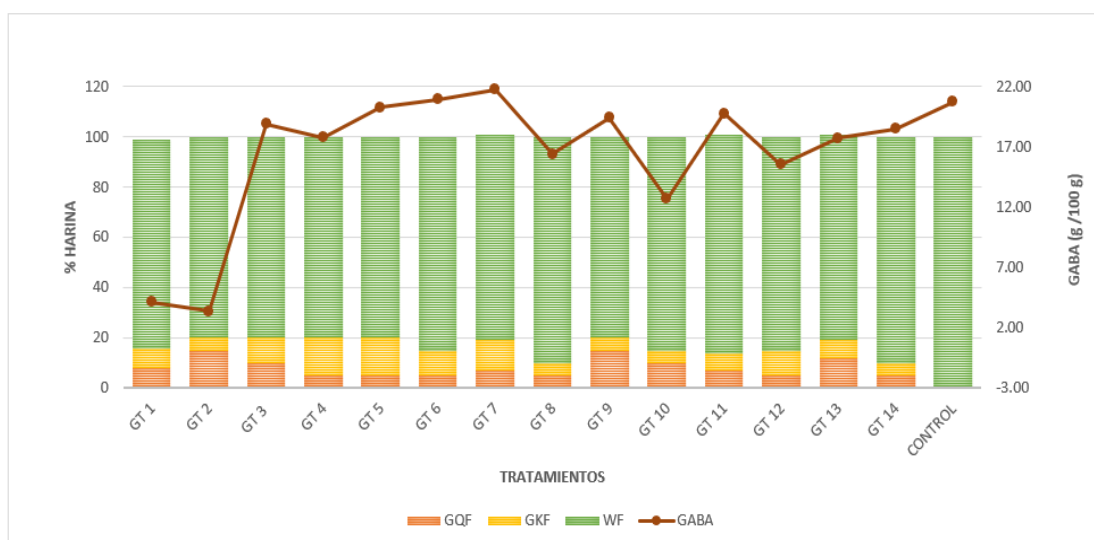
Fuente: SAS System

Al comparar el contenido de ácido fólico del pan de molde control (0,04 g/100 g) con el pan de mayor concentración (0,37 g/100 g), se observó un incremento de 9,25 veces.

Este aumento se asocia a la sustitución parcial de harina de trigo por harinas germinadas de quinua y kiwicha, lo que confirma que el proceso de germinación mejora la calidad nutricional y eleva la concentración de compuestos bioactivos en los granos de cereales (Singh, Rehal, Kaur y Jyot, 2015).

#### D. Análisis estadístico de resultados para la variable dependiente GABA.

Como se aprecia en el Anexo IV - Tabla 4F, los resultados no se ajustaron a los modelos, ya que presentaron un p-valor superior a 0,05 (95% de confianza). En la Figura 39 se muestra el comportamiento del GABA en función del porcentaje de harina de kiwicha germinada y quinua, observándose que la incorporación de estas harinas en la mezcla favorece el incremento del contenido de GABA (g/100 g).



**Figura 39.** Comportamiento de GABA debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)

Fuente: Tabla 15

Dado que el modelo cuadrático (Anexo IV – Tabla 4F) no presentó un ajuste adecuado y el  $R^2$  del modelo lineal resultó inaceptable, se aplicó la prueba de rangos múltiples. En la Tabla 23 se muestra el análisis de Tukey estandarizado para el GABA en función de los porcentajes de harina de kiwicha (GKF) y quinua (GQF), indicando que las medias con la misma letra no presentan diferencias significativas. El tratamiento 7 fue el que marcó la diferencia, con un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05\%$  y un  $R^2 = 0,9892$ .



**Tabla 23.**

Tukey's standarizado de GABA debido al porcentaje de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF).

Tratamiento	GQF (%)	GKF (%)	WF (%)	Mean
7	7	12	82	21.77 <sup>a</sup> ±0.65
6	5	10	85	20.97 <sup>ba</sup> ±0.33
Control	0	0	100	<b>20.76<sup>bac</sup> ±1.84</b>
5	5	15	80	20.31 <sup>bac</sup> ±0.69
11	7	7	87	19.77 <sup>bac</sup> ±0.09
9	15	5	80	19.44 <sup>bdac</sup> ±0.61
3	10	10	80	18.90 <sup>bdca</sup> ±0.50
14	5	5	90	18.49 <sup>bdec</sup> ±0.79
4	5	15	80	17.77 <sup>bdec</sup> ±0.99
13	12	7	82	17.72 <sup>dec</sup> ±0.94
8	5	5	90	16.40 <sup>de</sup> ±0.87
12	5	10	85	15.54 <sup>fe</sup> ±0.65
10	10	5	85	12.71 <sup>f</sup> ±1.06
1	8	8	83	4.12 <sup>g</sup> ±0.18
2	15	5	80	3.38 <sup>g</sup> ±0.01

Fuente: SAS System

Los resultados de GABA en los 14 tratamientos de pan de molde, formulados con diferentes proporciones de GKF, GQF y WF, se presentan en la Tabla 15. Los valores fluctuaron entre 3,38 y 21,77 mg/100 g, lo que evidencia que las variaciones en los porcentajes de las tres harinas permitieron un análisis completo del compuesto en estudio. Entre los tratamientos, el T7 alcanzó la mayor concentración de GABA (21,77 mg/100 g), con una mezcla de 7% GQF, 12% GKF y 82% WF, seguido del T6 con 20,97 mg/100 g. En general, la composición de estas formulaciones mostró que el contenido de GABA se incrementa cuando disminuyen los porcentajes de GQF y WF.

#### E. Optimización conjunta de las variables respuesta.

Para la optimización conjunta de las variables de respuesta, y considerando que los modelos individuales fueron ajustados para cada una de ellas —capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC,  $\mu$ moles TE/mg), compuestos fenólicos libres (TPC, mg GAE/100 g), contenido de ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA, mg/100 g m.s) y nivel de ácido fitico (g/100 g)—, se aplicó el método de optimización múltiple (Anexo IV – Tabla 4G). Este procedimiento exige definir previamente los rangos

deseables de cada variable y el objetivo establecido, ya sea maximizar o reducir la respuesta.

En este caso, se definió como criterio aumentar al máximo el contenido de fenoles totales, ORAC y GABA, mientras que para el ácido fítico el objetivo fue reducir su concentración. Con estos parámetros se realizó la optimización en el programa Design Expert 12.0, el cual generó diferentes soluciones, que se muestran en la Tabla 24.

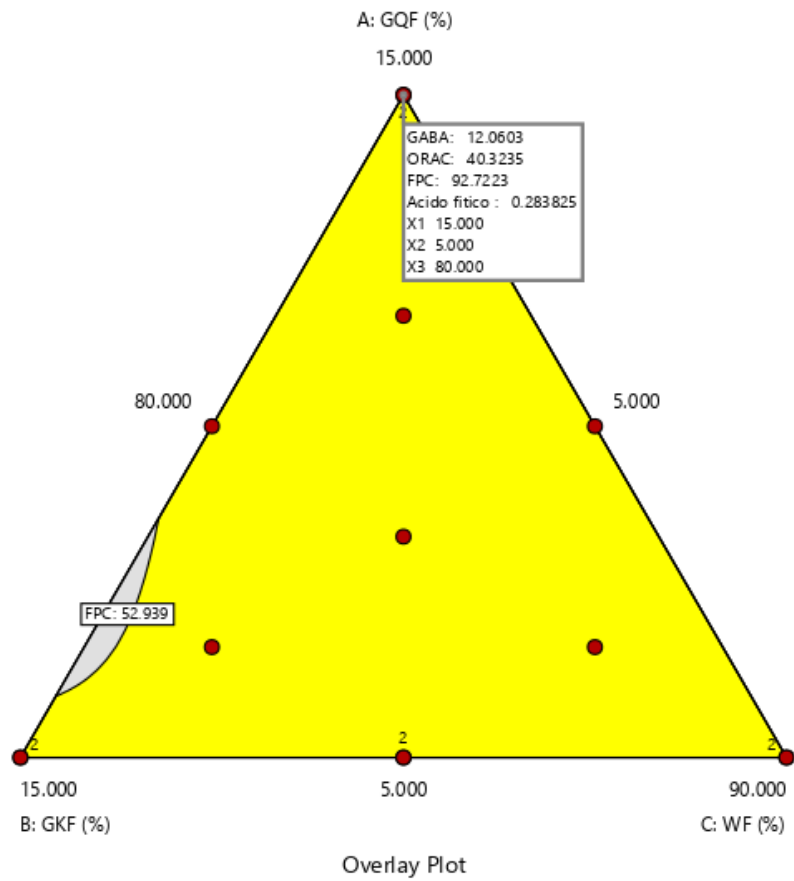
**Tabla 24.**

Formulaciones optimizadas a partir de la mezcla de harinas obtenidas de granos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa var. Pasankalla*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Centenario*).

Formulación de las mezclas Optimizadas				Parámetros				FD
T	GQF (%)	GKF (%)	WF (%)	GABA	ORAC	TPC	Ácido Fítico	
1	15.000	5.000	80.000	12.060	40.323	92.722	0.284	0.660
2	5.000	5.000	90.000	18.109	28.500	59.431	0.245	0.338

Fuente: Desing Expert V12

La mejor alternativa correspondió a la solución número 1, con una deseabilidad de 0.660, siendo la más cercana al valor ideal de 1. En este escenario, los porcentajes de harina de quinua germinada, kiwicha germinada y trigo que optimizan las características del pan de molde fueron de 15%, 5% y 80%, respectivamente.



**Figura 40.** Optimización conjunta de variable para el pan de molde a partir de harina de germinada de kiwicha (GKF) y quinua (GQF)  
Fuente: Tabla 15

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- La germinación evidenció la diferencia significativa en la composición proximal (Humedad, grasa y proteínas) de las harinas germinadas, a excepción del contenido de ceniza.
- El proceso de germinación evidenció la diferencia significativa ( $p$  valor  $<$  de 0.05) respecto del contenido de humedad y proteínas y no así para el contenido de ceniza y grasa entre las harinas de kiwicha germinados y sin germinar.
- El proceso de germinación permitió un incremento significativo de 229.125% y 115.629% de compuestos fenólicos de los granos de quinua y kiwicha respectivamente, marcando una diferencia estadísticamente significativa ( $p$  valor  $<$  de 0.05) entre las harinas de kiwicha a partir de granos germinado y sin germinar, lo mismo para las harinas de quinua a partir de granos germinado y sin germinar.
- El proceso de germinación permitió un incremento significativo de 267.52% y 614.13% del ácido gamma aminobutírico de los granos de kiwicha y quinua respectivamente, marcando una diferencia estadísticamente significativa ( $p$  valor  $<$  de 0.05) entre las harinas de kiwicha a partir de granos germinado y sin germinar, lo mismo para las harinas de quinua a partir de granos germinado y sin germinar.
- El proceso de germinación permitió un incremento significativo de 163.49% y 266.17% en la capacidad antioxidante de los granos de kiwicha y quinua respectivamente, marcando una diferencia estadísticamente significativa ( $p$  valor  $<$  de 0.05) entre las harinas de kiwicha a partir de granos germinado y sin germinar, lo mismo para las harinas de quinua a partir de granos germinado y sin germinar.
- La mezcla constituida por 5% de GQF, 5% de GKF y 90% de WF en la elaboración de una masa de panificación permitió una optimización conjunta de las características reológicas de absorción de agua, tiempo de desarrollo, estabilidad, consistencia, temperatura de gelatinización, máxima gelatinización, resistencia a la extensión y extensibilidad.
- La mezcla constituida por 15% de GQF, 5% de GKF y 80% de WF en la elaboración de pan de molde permite maximizar el contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante y minimizar la concentración de ácido fítico.

- La mezcla constituida por 20.969% de GQF, 15.807% de GKF y 63.223% de WF en la elaboración de galletas permite maximizar el contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante y minimizar la concentración de ácido fítico.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Investigar las condiciones óptimas de germinación como el tiempo, la temperatura y la humedad relativa en otros granos andinos de la Región Ancash, que maximicen la síntesis de compuestos beneficiosos para la salud.
- Investigar el efecto de la variedad y condiciones de cultivo en la síntesis de compuestos bioactivos durante la germinación.
- Optimizar las condiciones para el proceso de elaboración de productos de panadería para determinar el efecto de la temperatura de horneado y el tiempo de horneado en el contenido de compuestos bioactivos.
- Determinar la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos presentes en panes y galletas elaborados a partir de harina de quinua y kiwicha germinada.
- Estimar la vida útil del pan de molde y de las galletas formulados con sustitución parcial de harina de trigo por harinas de quinua y kiwicha germinadas, empleando diversos indicadores de estabilidad para establecer el periodo de conservación óptimo.

## VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abderrahim, F., Huanatico, E., Repo-Carrasco-Valencia, R., Arribas, S. M., Gonzalez, 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. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.04.013>
- Abderrahim, Fatima, Huanatico, E., Segura, R., Arribas, S., Gonzalez, M. C., & Condezo-Hoyos, L. (2015). Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Altiplano. *Food Chemistry*, 183, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.029>
- Acosta-Estrada, B. A., Gutiérrez-Uribe, J. A., & Serna-Saldívar, S. O. (2014). Bound phenolics in foods, a review. *Food Chemistry*, 152, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.093>
- Agrawal, Y. O., Sharma, P. K., Shrivastava, B., Ojha, S., Upadhy, H.M., Arya, D.S., Goya, S. N. (2014). Hesperidin produces cardioprotective activity via PPAR- $\gamma$  pathway in ischemic heart disease model in diabetic rats. *Plos One*, 9, e111212.
- Alkhalidy, H., Wang, Y., y Liu, D. (2018). Dietary Flavonoids in the Prevention of T2D: An Overview. *Nutrients*, 10(4), 438. <https://doi.org/10.3390/nu10040438>
- Alvarez M. (2011). *Elaboración de una harina precocida a base de quinua y cebada germinadas*. [Tesis de Pregrado no publicada] Universidad Tecnológica Equinoccial]. <https://1library.co/document/yd2v9o6q-elaboracion-harina-precocida-base-quinua-cebada-germinadas.html>.
- Alvarez-Jubete L, Arendt E, Gallagher E. 2010. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends Food Sci. Technol.* 21, 106–113. [https://doi: 10.1016/j.tifs.2009.10.014](https://doi:10.1016/j.tifs.2009.10.014).

- Alvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry*, *119*(2), 770–778. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.032>
- Aviles J. (2019). *Evaluación nutricional de galletas enriquecidas con harina de quinua negra (Chenopodium petiolare kunth) germinada*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11664#:~:text=Los%20resultados%20mostraron%20que%20el,de%20humedad%20en%200.39%25%20del>
- Baidakova, N. & Orlova, T. (2017). Influence of Abrasive Grain Geometrical Characteristics on the Grinding Quality. *Elsevier: Procedia Engineering*. Volume 206, 2017: 194-199. Retrieved October 18, 2019, from <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.10.459>
- Borneo, R., & Aguirre, A. (2008). Chemical composition, cooking quality, and consumer acceptance of pasta made with dried amaranth leaves flour. *LWT-Food Science and Technology*, *41*(10), 1748-1751.
- Bravo, A.; Reyna, R.; Gómez, M & Huapaya, H. (2013). Estudio químico y nutricional de granos andinos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, *16*(1): 54 – 60.
- Cáceres, P. J., Martínez-Villaluenga, C., Amigo, L., & Frias, J. (2014). Maximising the phytochemical content and antioxidant activity of Ecuadorian brown rice sprouts through optimal germination conditions. *Food Chemistry*, *152*, 407–414. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.156>
- Cartea, M. E.; Francisco, M.; Soengas, P.; Velasco, P. (2011). Phenolic compounds in *Brassica* Vegetables. *Molecules*, *16*, 251-280.
- Chancusig, S. (2013). *Incidencia de la harina de quinua germinada (Chenopodium quinoa) en las propiedades nutricionales del fideo*. [Tesis de Maestría no publicada]. Universidad

[https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UTN\\_aedf52e5430902a409dcc6adaef7c460](https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UTN_aedf52e5430902a409dcc6adaef7c460)

- Chaparro, D. C., Pismag, R. Y., & Elizalde, C. A. (2011). “Efecto de la germinación sobre el contenido de hierro y calcio en amaranto, quinua, guandul y soya”. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 51-59.
- Chauhan, A., Saxena, D. C., & Singh, S. (2015). Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus* spp.) flour. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2), 939–945. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.115>
- Chen, Z., Wang, P., Weng, Y., Ma, Y., Gu, Z., & Yang, R. (2017). Comparison of phenolic profiles, antioxidant capacity and relevant enzyme activity of different Chinese wheat varieties during germination. *Food Bioscience*, 20, 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.10.004>
- Chirinos, R., Ochoa, K., Aguilar-Gálvez, A., Carpentier, S., Pedreschi, R., & Campos, D. (2018). Obtaining of peptides with antioxidant and antihypertensive properties from cañihua protein (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). *J Cereal Sci*, 83, 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.07.004>
- Colmenares, S. (2015). Efecto de la germinación sobre la composición química y nutricional de la semilla de amaranto (*Amaranthus* spp.). Tesis para optar el grado de maestría de la facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos. Guatemala. Disponible en: <http://www.researchgate.net>.
- Cornejo, F., Novillo, G., Villacrés, E., & Rosell, C. M. (2019). Evaluation of the physicochemical and nutritional changes in two amaranth species (*Amaranthus quitensis* and *Amaranthus caudatus*) after germination. *Food Research International*, 121(January), 933–939. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.022>
- Crozier, A.; Clifford, M. N.; Ashihara, H. 2006. Plant secondary metabolites: occurrence, structure and role in the human diet. Blackwell Publishing Ltd.



- Cruz, M. (2017). *Aplicaciones de la Semilla Germinada de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en la mejora Nutricional de los preparados Alimentarios*. [Tesis de licenciatura no publicada]. Universidad Nacional de Trujillo. <https://1library.co/document/8ydw4pjq-aplicaciones-semilla-germinada-quinua-chenopodium-nutricional-preparados-alimentarios.html>
- Diana, M.; Quílez, J.; Rafecas, M. (2014). Gamma-aminobutyric acid as a bioactive compound in foods: a review. *Journal of Functional Foods*, 10, 407-420.
- Drzikova, B.; Dongowski, G.; Gebhardt, E. (2005). Dietary fibre-rich oat-based products affect serum lipids, microbiota, formation of short-chain fatty acids and steroids in rats. *British Journal of Nutrition*, 94, 1012-1025.
- Dziki, D., Różyło, R., Gawlik-Dziki, U., & Świeca, M. (2014). Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 40(1), 48-61.
- Estrada, R. (2015). Fortalecimiento de la producción orgánica de kiwicha en la Región Cusco de la Dirección Regional Agraria. Cusco: Programa Nacional de Innovación Agraria en Culvos Andinos – Estación Experimental Andenes Cusco.
- FAO (2013). *The International Year of Quinoa*. <http://www.fao.org/quinoa-2013/en/>
- Gan, R. Y., Lui, W. Y., Wu, K., Chan, C. L., Dai, S. H., Sui, Z. Q., & Corke, H. (2017). Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: An updated review. *Trends in Food Science and Technology*. 59(1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.010>
- Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., Pietrzak, W., & Nowak, R. (2017). Phenolic acids prolife and antioxidant properties of bread enriched with sprouted wheat flour. *Journal of food biochemistry*, 41(4). e12386 <https://doi.org/10.1111/jfbc.12386>

- Gómez-Caravaca A. M., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A., Caboni M. F. (2011). Simultaneous determination of phenolic compounds and saponins in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by a liquid chromatography-diode array detection-electrospray ionization-time of flight mass spectrometry methodology. *J. Agric. Food Chem.* 59, 10815-10825. <https://doi.org/10.1021/jf202224>.
- Han, Y., Chi, J., Zhang, M., Zhang, R., Fan, S., Huang, F., Xue, K., Liu, L. (2019). Characterization of saponins and phenolic compounds: antioxidant activity and inhibitory effects on  $\alpha$ -glucosidase in different varieties of colored quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 83(1), 2128-2139. <https://doi.org/10.1080/09168451.2019.1638756>
- He, D., Han, C., Yao, J., Shen, S., & Yang, P. (2011). Constructing the metabolic and regulatory pathways in germinating rice seeds through proteomic approach. *Proteomics. Proteomics*, 11(1), 2693-2713. <https://doi.org/10.1002/pmic.201000598>
- Huanatico, E. (2008). *Efecto del germinado y extrusión sobre el contenido de aminoácidos de la cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) y elaboración de donas*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/630>.
- Jan, R., Saxena, D. C., & Singh, S. (2017). Effect of extrusion variables on antioxidant activity, total phenolic content and dietary fibre content of gluten-free extrudate from germinated *Chenopodium* (*Chenopodium album*) flour. *International journal of food science & technology*, 52(12), 2623-2630. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13549>
- Jenner, A. M., Rafter, J., Halliwell, B. (2007), Human fecal water content of phenolics: the extent of colonic exposure to aromatic compounds. *Free Radic. Biol. Med.*, 38, 763–772.
- Jimenez, M. D., Lobo, M., & Sammán, N. (2019). Influence of germination of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and amaranth (*Amaranthus*) grains on nutritional and techno-functional properties of their flours. *Journal of Food Composition and Analysis*, 84(1), 103290. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103290>

- Joshi, D. C., Sood, S., Hosahatti, R., Kant, L., Pattanayak, A., Kumar, A., Yadav, D., Stetter, M. G. (2018). From zero to hero: the past, present and future of grain amaranth breeding. *Theor. Appl. Genet.* 131, 1807-1823.
- Kim, S., Lee, J. W., Heo, Y., & Moon, B. (2016). Effect of *Pleurotus eryngii* mushroom  $\beta$ -glucan on quality characteristics of common wheat pasta. *Journal of food science*, 81(4), C835-C840. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13249>
- Lemos, A. R., Capriles, V.D., Pinto e Silva, M.E.M., & Arêas, J.A.G. (2012). Effect of incorporation of amaranth on the physical properties and nutritional value of cheese bread. *Food Science and Technology*, 32(3), 427-431. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000079>
- López-Martínez, L. X., Leyva-López, N., Gutiérrez-Grijalva, E. P., & Heredia, J. B. (2017). Effect of cooking and germination on bioactive compounds in pulses and their health benefits. *Journal of Functional Foods*, 38, 624–634. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.03.002>
- Luna, E. (2015). *Influencia del germinado y coccion humeda en compuestos bioactivos de dos accesiones de cañihua (Chenopodium Pallidicaule Aellen)*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/281>.
- Makowski, B., Rosicka-kaczmarek, J., & Nebesny, E. (2015). *Bioactive compounds in cereals : Technological and nutritional properties* (pp. 103–122).
- Mamani, E. (2017). *Influencia del germinado y cocción húmeda en compuestos bioactivos de dos accesiones de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen)*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2816>
- Mamani, Y. & Quispe M. (2017). *Efecto de la calidad proteica de la mezcla de harinas de kiwicha germinada y garbanzo (2:1) en la recuperación nutricional y en los diversos órganos en ratas albinas inducidos a desnutrición, Arequipa 2016*. [Tesis de

licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2445>

Martinez, C. S., Ribotta, P. D., Añón, M. C., & León, A. E. (2014). Effect of amaranth flour (*Amaranthus mantegazzianus*) on the technological and sensory quality of bread wheat pasta. *Food Science and Technology International*, 20(2), 127-135.  
<http://hdl.handle.net/11336/33576>

Meyhuay, M. (2000). *Quinoa: Operaciones de Poscosecha*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. pp. 20. <https://www.fao.org/3/ar364s/ar364s.pdf>

Moreno, M. D. L., Comino, I., & Sousa, C. (2014). Alternative grains as potential raw material for gluten-free food development in the diet of celiac and gluten-sensitive patients. *Austin Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2(3), 1016-1023.

Montoya, J., Giraldo, G., & Lucas, A. (2012). Caracterización física de harina de trigo y pan mediante determinación de la viscosidad y la cristalinidad de la pasta. *Vitae. Universidad de Antioquia*, 19(1), S346-S348.  
<https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914108.pdf>

Nkhata, S. G., Ayua, E., Kamau, E. H., & Shingiro, J. B. (2018). Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. *Food Science and Nutrition*, 6(8), 2446–2458.  
<https://doi.org/10.1002/fsn3.846>

Noratto, G., Carrion-Rabanal, R. M., Mencia, A., et al., (2015). Quinoa protective effects against obesity induced intestinal inflammation. *FASEB J*, 29, *Supplement* 602.9.

Nyambe-Silavwe, H., Villa-Rodriguez, J. A., Ifie, I., Holmes, M., Aydin, E., Jensen, J. M., & Williamson, G. (2015). Inhibition of human  $\alpha$ -amylase by dietary polyphenols. *Journal of Functional Foods*, 19, 723–732. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.10.003>

- Nyambe-Silavwe, H., Villa-Rodriguez, J. A., Ifie, I., Holmes, M., Aydin, E., Jensen, J. M., y Williamson, G. (2015). Inhibition of human  $\alpha$ -amylase by dietary polyphenols. *Journal of Functional Foods*, 19, 723–732. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.10.003>
- Oh, C. H.; Oh, S. H. 2004. Effect of germinated brown rice extracts with enhanced levels of GABA on cancer cell proliferation and apoptosis. *Journal of Medicinal Food*, 7, 19–23.
- Olivares, Y. & Ricaldi, K. (2013). *Efecto del proceso de malteado en las características fisicoquímicas y químicas en la obtención de harina de maíz (Zea mays)*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1957>
- Onyeka, E. U., & Obeleagu, O. S. (2013). Production and evaluation of specialty bread from sprouted mixed-grains. *African Journal of Food Science*, 7(4), 63-70. <https://doi.org/10.5897/AJFS12.122>
- Ozidal, T., Sela, D. A., Xiao, J., Boyacioglu, D. et al. (2016), The reciprocal interactions between polyphenols and gut microbiota and effects on bioaccessibility. *Nutrients*, 8, 78. <https://doi.org/10.3390/nu8020078>
- Palani Swamy, S. kumaran, & Govindaswamy, V. (2015). Therapeutical properties of ferulic acid and bioavailability enhancement through feruloyl esterase. *Journal of Functional Foods*, 17, 657–666. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.013>
- Pardeshi, I. L., & Chattopadhyay, P. K. (2014). Whirling bed hot air puffing kinetics of rice-soy ready-to-eat (RTE) snacks. *Journal of Ready to Eat Food*, 1(1), 01-10.
- Paucar-Menacho, L. M., 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*, 76, 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.038>

- Paucar-Menacho, L.M., 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 and Technology*, 53 (2), 516-524. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13623>
- Paucar-Menacho, L.M., 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*, 76, 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.038>
- Perales-Sanchez, J., Reyes-Moreno, C., Gómez-Favela, M., Milan-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E., Valdez-Ortiz, A., [et al.], (2014). Increasing the antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents by optimizing the germination conditions of amaranth seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, vol. 69, pp. 196-202. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0430-0>
- Prabhasankar, P., Ganesan, P., Bhaskar, N., Hirose, A., Stephen, N., Gowda, L. R., ... & Miyashita, K. (2009). Edible Japanese seaweed, wakame (*Undaria pinnatifida*) as an ingredient in pasta: Chemical, functional and structural evaluation. *Food Chemistry*, 115(2), 501-508. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.047>
- Rai, S., Kaur, A., & Chopra, C. S. (2018). *Gluten-free products for celiac susceptible people: A review*. *Frontiers in nutrition*, 5, 116.
- Ramirez, E. (2015). *Elaboración de sopa deshidratada a partir de germinado y hojas de Quinoa (Chenopodium quinoa, Willd) y arveja (Pisum sativum)*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2178>
- Ramírez, M. (2015). *Elaboración de sopa deshidratada a partir de germinados y hojas de quinua (Chenopodium quinoa, Willd) y arveja (Pisum sativum)*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2178>

- Ramos, N. C., Piemolini-Barreto, L. T., & Sandri, I. G. (2012). Elaboração de pré-mistura para bolo sem glúten. Preparation pré mix to cake free-gluten. *Alimentos e Nutrição Araraquara*, 23(1), 33-38.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Arana, J. V. (2017). *Carbohydrates of kernels. In Pseudocereals* (Eds C. M. Haros and R. Schonlechner). doi:10.1002/9781118938256.ch3
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Hellström, J. K., Pihlava, J. M., & Mattila, P. H. (2010). Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry*, 120(1), 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.087>
- Rochetti, G., Lucini, L., Lorenzo Rodriguez, J. M., Barba, F. J., Giuberti, G. (2019). Gluten-free flours from cereals, pseudocereals and legumes: Phenolic fingerprints and in vitro antioxidant properties, *Food Chemistry*. 271, 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.176>
- Rodríguez-Sandoval, E., Lascano, A. & Sandoval, G. (2012). Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15 (1),199 – 207. <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n1.2012.817>
- Román, P. R. (2000). Efecto de iones y otros factores físicos sobre la germinación de semillas. *Journal of the Mexican Chemical Society*. 44(3), 233-236.
- Rosa, N.; Barron, C.; Gaiani, C.; Dufour C. & Micard, V. (2013). Ultra – fine grinding increases the antioxidant capacity of wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 57(1), 84 – 90., from <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.10.002>
- Ruiz, K. B., Biondi, S., Oses, R., Acuña-Rodríguez, I. S. et al. (2013). Quinoa diversity and sustainability for Food security under climate change. *A review. Agronomy for Sustainable Development*. 34, 349-359. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0195-0>

- Saldivar, S. O. S. (2015). *Cereals: Types and Composition. Encyclopedia of Food and Health* (1st ed.). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00128-8>
- Santos, A. P.; Rebouças, T. N. H.; Souza, J. C. C.; Bonomo, R. C. F.; Silva, L. M. (2010). Caracterização e Avaliação da Qualidade de Sopas Desidratadas Elaboradas com Farinha de Batata Durante o Tempo de Armazenamento. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 28(1), 57-68. <https://doi.org/10.5380/cep.v28i1.17898>
- Sapirstein, H., Wu, Y., Koksel, F. & Graf, R. (Snf). (2018) A Study of Factors Influencing the Water Absorption Capacity of Canadian Hard Red Winter Wheat flour. *Agriculture & Agri-Food*, 81(1) 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.01.012>
- Schoenlechner, R., Drausinger, J., Ottenschlaeger, V. et al. (2010). *Plant Foods for Human Nutrition*, 65, 339- 349. <https://doi.org/10.1007/s11130-010-0194-0>
- Sharma, S., Saxena, D. C., & Riar, C. S. (2017). Using combined optimization, GC–MS and analytical technique to analyze the germination effect on phenolics, dietary fibers, minerals and GABA contents of Kodo millet (*Paspalum scrobiculatum*). *Food Chemistry*, 233, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.099>
- Singh, A., Sharma, S., & Singh, B. (2017). Effect of germination time and temperature on the functionality and protein solubility of sorghum flour. *Journal of Cereal Science*, 76, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.06.003>
- Siwatch, M., Yadav, R. B., & Yadav, B. S. (2017). X-ray diffraction, rheological and FT-IR spectra studies of processed amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 1717–1724. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9552-z>
- Subba Rao, M. V. S. S. T., & Muralikrishna, G. (2004). Structural analysis of arabinoxylans isolated from native and malted finger millet (*Eleusine coracana*, ragi). *Carbohydrate Research*, 339(14), 2457–2463. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2004.07.005>



- Tan, Y., & Chang, S. K. C. (2017). Digestive enzyme inhibition activity of the phenolic substances in selected fruits, vegetables and tea as compared to black legumes. *Journal of Functional Foods*, 38, 644–655. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.04.005>
- Tan, Y., y Chang, S. K. C. (2017). Digestive enzyme inhibition activity of the phenolic substances in selected fruits, vegetables and tea as compared to black legumes. *Journal of Functional Foods*, 38, 644–655. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.04.005>
- Tang, Y., Li, X., Zhang, B., Chen, P. X., Liu, R., & Tsao, R. (2015). Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food Chemistry*, 166, 380–388. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.018>
- Tang, Y., Tsao, R., (2017), Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects. *Molecular Nutrition Food Reseseach*. 61, 1600767. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600767>
- Tarko, T., Duda-Chodak, A., & Zajac, N. (2013). Digestion and absorption of phenolic compounds assessed by in vitro simulation methods. *A review. Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 64(2).
- Torres, A., Frias, J., Granito, M., & Vidal-Valverde, C. (2007). Germinated *Cajanus cajan* seeds as ingredients in pasta products: Chemical, biological and sensory evaluation. *Food chemistry*, 101(1), 202-211.
- Torres, Alexia, Cova, A, & Valera, D.. (2018). Efecto del proceso de germinación de granos de *Cajanuscajan* en la composición nutricional, ácidos grasos, antioxidantes y bioaccesibilidad mineral. *Revista chilena de nutrición*, 45(4), 323-330. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182018000500323>
- Tovar-Hernández, C., Perafán-Gil, E. Enríquez-Collazos, M. Pismag-Portilla, Y. & Ceron-Fernandez, L. (2017). Evaluación del efecto del proceso de extrusión en harina de quinua (*chenopodium quinoa willd*) normal y germinada. *Bioteología en el Sector*

- Valencia, Z., Ccapa, K., Catacora, P., & Quispe, F. (2017). Compuestos bioactivos y actividad antioxidante de semillas de quinua peruana ( *Chenopodium quinoa* W .) bioactive compounds and antioxidant activity from peruvian quinoa seeds ( *Chenopodium quinoa* W .). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 83(1), 16–29.
- Wang, N., Hou, G. & Dubat, A. (2017). Effects of flour particle size on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and Chinese southern-type steamed bread. *LWT Food Science Technology*, 82, 147–153. <https://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.025>
- Wu, F.; Yang, N.; Touré, A.; Jin, Z.; Xu, X. (2012). Germinated brown rice and its role in human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53, 451-463.
- Xu, L., Chen, L., Ali, B., Yang, N., Chen, Y., Wu, F., ... Xu, X. (2017). Impact of germination on nutritional and physicochemical properties of adlay seed (*Coixlachryma-jobi* L.). *Food Chemistry*, 229, 312–318. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.096>
- Xu, Y., Guo, Y., Gao, Y., Niu, X., Wang, L., Li, X., ... Yang, Y. (2018). Separation, characterization and inhibition on  $\alpha$ -glucosidase,  $\alpha$ -amylase and glycation of a polysaccharide from blackcurrant fruits. *LWT*, 93, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.023>
- Xu, Y., Guo, Y., Gao, Y., Niu, X., Wang, L., Li, X., Chen, H., Yu, Z., y Yang, Y. (2018). Separation, characterization and inhibition on  $\alpha$ -glucosidase,  $\alpha$ -amylase and glycation of a polysaccharide from blackcurrant fruits, *LWT. Food Science and Technology*, 93, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomac.2020.06.212>
- Yamani, B. V. (2015). Substituição parcial de farinha de trigo por farinha de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.), quinua (*Chenopodium quinoa* W.) e maca (*Lepidium meyenii* W.) na elaboração de panetone. [Tesis de doctorado, Universidad de Sao Paulo]. doi:10.11606/T.9.2016.tde-14122015-170439.

- Yoshimura, M.; Toyoshi, T.; Sano, A.; Izumi, T.; Fujii, T.; Konishi, C.; Inai, S.; Matsukura, C.; Fukuda, N.; Ezura, H.; Obata, A. (2010). Antihypertensive effect of a  $\gamma$ -aminobutyric acid rich tomato cultivar “DG03-9” in spontaneously hypertensive rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(1), 615–619. doi: 10.1021/jf903008t.
- Zhang, B., Deng, Z., Ramdath, D. D., Tang, Y., Chen, P. X., Liu, R., ... Tsao, R. (2015). Phenolic profiles of 20 Canadian lentil cultivars and their contribution to antioxidant activity and inhibitory effects on  $\alpha$ -glucosidase and pancreatic lipase. *Food Chemistry*, 172, 862–872. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.144>
- Zhu, F. (2018). Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. *Food Research International*, 109, 232–249. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.015>

## VII. ANEXOS

### Anexo I

**Tabla 1A.**

Análisis Proximal (base seca) con repeticiones de Harinas a partir de Granos Andinos Germinados y No Germinados (quinua y kiwicha)

Harinas	Humedad	Grasa	Ceniza	Proteína
Kiwicha G	4,407	6,174	2,943	15,469
	4,172	5,439	2,826	15,426
	4,075	5,965	2,791	15,254
Kiwicha S/G	6,016	5,025	2,842	16,015
	5,453	5,192	2,460	15,926
	5,901	5,096	2,668	16,202
Quinua G	4,269	6,805	2,374	13,755
	4,606	7,163	2,219	13,244
	4,686	7,584	2,283	13,559
Quinua S/G	8,948	5,281	2,638	16,879
	8,834	5,149	2,295	16,730
	8,871	5,207	2,512	16,987

Fuente: Laboratorio de análisis y composición de productos agroindustriales – Universidad nacional del Santa

**Tabla 1B.**

Análisis proximal (valores promedio) de la harina de granos no germinados en base seca

	Humedad (%)	Grasa (%)	Ceniza (%)	Proteína (%)
<b>Kiwicha</b>	5.79±0.30	5.10±0.08	2.66±0.19	16.05±0.14
<b>Quinua</b>	8.88±0.06	5.21±0.07	2.48±0.17	16.87±0.13
<b>Cañihua</b>	10.01±0.15	6.18±0.04	2.76±0.13	20.61±0.26

Fuente: SPSS v.22 – Tabla 1A

**Tabla 1C.**

Análisis proximal (valores promedio) de la harina de granos germinados en base seca

	Humedad (%)	Grasa (%)	Ceniza (%)	Proteína (%)
<b>Kiwicha</b>	4.22±0.17	5.86±0.38	2.85±0.08	15.38±0.11
<b>Quinua</b>	4.52±0.22	7.18±0.39	2.29±0.08	13.52±0.26
<b>Cañihua</b>	5.50±0.15	6.23±0.25	2.68±0.05	19.11±0.27

Fuente: SPSS v.22 – Tabla 1A

**Tabla 1D.**

ANOVA simple – Análisis proximal de Harinas a partir de Granos Andinos Germinados y Sin Germinar

Harinas	Análisis proximales*		Suma de cuadrados	g l	Cuadrado medio	F	Valor P.
Kiwicha	Humedad	Entre grupos	3,707	1	3,707	63,026	,001
		Dentro de grupos	,235	4	,059		
		Total	3,942	5			
	Grasa	Entre grupos	,855	1	,855	11,366	,028
		Dentro de grupos	,301	4	,075		
		Total	1,156	5			
	Ceniza	Entre grupos	,058	1	,058	2,704	,175
		Dentro de grupos	,086	4	,021		
		Total	,144	5			
	Proteína	Entre grupos	,663	1	,663	40,422	,003
		Dentro de grupos	,066	4	,016		
		Total	,728	5			
Quinua	Humedad	Entre grupos	28,567	1	28,567	1091,194	,000
		Dentro de grupos	,105	4	,026		
		Total	28,671	5			
	Grasa	Entre grupos	5,831	1	5,831	74,559	,001
		Dentro de grupos	,313	4	,078		
		Total	6,144	5			
	Ceniza	Entre grupos	,054	1	,054	2,984	,159
		Dentro de grupos	,072	4	,018		
		Total	,126	5			
	Proteína	Entre grupos	16,794	1	16,794	404,116	,000
		Dentro de grupos	,166	4	,042		
		Total	16,960	5			

## ANEXO II

**Tabla 2A.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro reológico Absorción de Agua de la masa.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
Linear	0.0010	< 0.0001	0.6616	0.5919
<b>Quadratic</b>	<b>0.0185</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.8581</b>	<b>0.4586</b>
Special Cubic	0.0012	0.0021	0.9671	0.7802
Cubic	0.1985	0.0016	0.9759	-0.0380
Sp Quartic vs Quadratic	0.0072	0.0016	0.9759	-0.0380
Quartic vs Cubic	0.0016		0.9981	
Quartic vs Sp Quartic	0.0016		0.9981	

**Tabla 2B.**

Análisis de Varianza (ANOVA) para el parámetro reológico Absorción de Agua de la masa.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
<b>Model</b>	32.74	5	6.55	16.73	<b>0.0005</b>
<sup>(1)</sup> Linear mixture	25.60	2	12.80	32.70	0.0001
AB	4.35	1	4.35	11.10	<b>0.0104</b>
AC	0.3152	1	0.3152	0.8053	0.3957
BC	2.69	1	2.69	6.87	<b>0.0306</b>
<b>Residual</b>	3.13	8	0.3915		
Lack of Fit	3.11	4	0.7775	145.00	<b>0.0001</b>
Pure Error	0.0214	4	0.0054		
<b>Cor Total</b>	35.87	13			

**Tabla 2C.**

Coefficientes del modelo matemático parámetro reológico Absorción de Agua de la masa.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
<b>A-GQF</b>	60.03	1	0.4338	59.03	61.03	1.50
<b>B-GKF</b>	60.60	1	0.4343	59.60	61.60	1.62
<b>C-WF</b>	65.10	1	0.4343	64.10	66.10	1.62
<b>AB</b>	8.20	1	2.46	2.53	13.88	1.55
<b>AC</b>	-2.21	1	2.46	-7.89	3.47	1.55
<b>BC</b>	-5.39	1	2.05	-10.12	-0.6482	1.76

**Tabla 2D.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro reológico Tiempo de Desarrollo de la masa.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
Linear	< 0.0001	0.0005	0.8168	0.7563
<b>Quadratic</b>	0.0084	0.0028	0.9373	0.8201
Special Cubic	0.0131	0.0115	0.9720	0.8683
Cubic	0.0406	0.0341	0.9891	0.6376
Sp Quartic vs Quadratic	<b>0.0076</b>	<b>0.0341</b>	<b>0.9891</b>	<b>0.6376</b>
Quartic vs Cubic	0.0341		0.9961	
Quartic vs Sp Quartic	0.0341		0.9961	

**Tabla 2E.**

Análisis de Varianza (ANOVA) para el parámetro reológico Tiempo de Desarrollo de la masa.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
<b>Model</b>	2.77	5	0.5542	39.87	< 0.0001
<sup>(1)</sup> Linear mixture	2.44	2	1.22	87.59	< 0.0001
AB	0.3353	1	0.3353	24.12	<b>0.0012</b>
AC	0.0057	1	0.0057	0.4127	0.5386
BC	0.0002	1	0.0002	0.0147	0.9064
<b>Residual</b>	0.1112	8	0.0139		
Lack of Fit	0.1078	4	0.0269	31.23	0.0028
Pure Error	0.0035	4	0.0009		
<b>Cor Total</b>	2.88	13			

**Tabla 2F.**

Coeficientes del modelo matemático parámetro reológico Tiempo de Desarrollo de la masa.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-GQF	3.09	1	0.0818	2.90	3.28	1.50
B-GKF	2.48	1	0.0818	2.29	2.67	1.62
C-WF	4.04	1	0.0818	3.85	4.23	1.62
AB	2.28	1	0.4640	1.21	3.35	1.55
AC	-0.2981	1	0.4640	-1.37	0.7720	1.55
BC	-0.0470	1	0.3871	-0.9398	0.8457	1.76

**Tabla 2G.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro reológico Estabilidad de la masa.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
Linear	< 0.0001	0.0369	0.8949	0.8716
<b>Quadratic</b>	0.6023	0.0232	0.8839	0.6417
Special Cubic	0.1169	0.0313	0.9089	0.4033
Cubic	0.1433	0.0345	0.9414	-0.9450
Sp Quartic vs Quadratic	0.1002	0.0345	0.9414	-0.9450
Quartic vs Cubic	0.0345		0.9789	
Quartic vs Sp Quartic	0.0345		0.9789	

**Tabla 2H.**

Análisis de Varianza (ANOVA) para el parámetro reológico Estabilidad de la masa.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
<b>Model</b>	3.58	5	0.7165	20.80	0.0002
<sup>①</sup> Linear mixture	3.51	2	1.76	51.01	< 0.0001
AB	0.0056	1	0.0056	0.1615	0.6983
AC	0.0138	1	0.0138	0.4002	0.5446
BC	0.0460	1	0.0460	1.34	0.2811
<b>Residual</b>	0.2756	8	0.0344		
Lack of Fit	0.2506	4	0.0626	10.02	0.0232
Pure Error	0.0250	4	0.0063		
<b>Cor Total</b>	3.86	13			



**Tabla 2I.**

Coeficientes del modelo matemático parámetro reológico Estabilidad de la masa.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-GQF	3.58	1	0.1287	3.28	3.87	1.50
B-GKF	3.36	1	0.1288	3.07	3.66	1.62
C-WF	4.93	1	0.1288	4.63	5.23	1.62
AB	-0.2935	1	0.7305	-1.98	1.39	1.55
AC	-0.4621	1	0.7305	-2.15	1.22	1.55
BC	-0.7044	1	0.6095	-2.11	0.7010	1.76

**Tabla 2J.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro reológico Consistencia de la masa.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
Linear	0.0012	0.0793	0.6544	0.5338
<b>Quadratic</b>	0.3768	0.0679	0.6705	0.1217
Special Cubic	0.1298	0.0882	0.7349	-0.0903
Cubic	0.0247	0.8756	0.9155	0.8448
Sp Quartic vs Quadratic	<b>0.0197</b>	<b>0.8756</b>	<b>0.9155</b>	<b>0.8448</b>
Quartic vs Cubic	0.8756		0.8951	
Quartic vs Sp Quartic	0.8756		0.8951	

**Tabla 2K.**

Análisis de Varianza (ANOVA) para el parámetro reológico Consistencia de la masa.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
<b>Model</b>	17468.88	8	2183.61	18.61	0.0026
<sup>①</sup> Linear mixture	12775.02	2	6387.51	54.45	0.0004
AB	523.40	1	523.40	4.46	0.0884
AC	68.52	1	68.52	0.5841	0.4792
BC	1761.89	1	1761.89	15.02	0.0117
ABC	1227.59	1	1227.59	10.46	0.0231
AB(A-B)	1589.16	1	1589.16	13.55	0.0143
AC(A-C)	10.29	1	10.29	0.0877	0.7790
<b>Residual</b>	586.55	5	117.31		
Lack of Fit	4.05	1	4.05	0.0278	0.8756
Pure Error	582.50	4	145.63		
<b>Cor Total</b>	18055.43	13			

**Tabla 2L.**

Coeficientes del modelo matemático parámetro reológico Consistencia de la masa.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-GQF	831.93	1	7.65	812.27	851.59	1.55
B-GKF	874.43	1	7.65	854.77	894.09	1.68
C-WF	767.93	1	7.65	748.27	787.59	1.68
AB	-101.85	1	48.22	-225.81	22.10	1.99
AC	-36.85	1	48.22	-160.81	87.10	1.99
BC	-145.28	1	37.49	-241.65	-48.92	1.95
ABC	1066.85	1	329.80	219.08	1914.61	2.23

**Tabla 2M.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro reológico Temperatura de Gelatinización de la masa.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
Linear	<b>0.0071</b>	<b>&lt; 0.0001</b>	<b>0.5187</b>	<b>0.4119</b>
<b>Quadratic</b>	0.5535	< 0.0001	0.4831	-0.3407
Special Cubic	0.1420	< 0.0001	0.5754	-1.7197
Cubic	0.1777	< 0.0001	0.7021	-12.6775
Sp Quartic vs Quadratic	<b>0.1365</b>	<b>&lt; 0.0001</b>	<b>0.7021</b>	<b>-12.6775</b>
Quartic vs Cubic	< 0.0001		0.9996	
Quartic vs Sp Quartic	< 0.0001		0.9996	

**Tabla 2N.**

Análisis de Varianza (ANOVA) para el parámetro reológico Temperatura de Gelatinización de la masa.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
<b>Model</b>	91.70	5	18.34	3.43	0.0596
<sup>(1)</sup> Linear mixture	79.71	2	39.86	7.45	0.0149
AB	9.73	1	9.73	1.82	0.2142
AC	0.4247	1	0.4247	0.0794	0.7852
BC	1.26	1	1.26	0.2353	0.6406
<b>Residual</b>	42.77	8	5.35		
Lack of Fit	42.76	4	10.69	2850.46	< 0.0001
Pure Error	0.0150	4	0.0037		
<b>Cor Total</b>	134.47	13			

**Tabla 2O.**

Coeficientes del modelo matemático parámetro reológico Temperatura de Gelatinización de la masa.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-GQF	75.79	1	1.60	72.09	79.49	1.50
B-GKF	76.82	1	1.60	73.12	80.52	1.62
C-WF	83.67	1	1.60	79.97	87.37	1.62
AB	12.28	1	9.10	-8.71	33.26	1.55
AC	2.57	1	9.10	-18.42	23.55	1.55
BC	3.68	1	7.59	-13.83	21.19	1.76

**Tabla 2P.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro reológico Gelatinización Máxima de la masa.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
Linear	< 0.0001	0.0536	0.9872	0.9805
<b>Quadratic</b>	<b>0.0165</b>	<b>0.2170</b>	<b>0.9948</b>	<b>0.9919</b>
Special Cubic	0.3456	0.1953	0.9948	0.9737
Cubic	0.1551	0.2870	0.9965	0.9528
Sp Quartic vs Quadratic	0.1883	0.2870	0.9965	0.9528
Quartic vs Cubic	0.2870		0.9969	
Quartic vs Sp Quartic	0.2870		0.9969	

**Tabla 2Q.**

Análisis de Varianza (ANOVA) para el parámetro reológico Gelatinización Máxima de la masa.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
<b>Model</b>	37744.65	5	7548.93	497.68	< 0.0001
<sup>(1)</sup> Linear mixture	37456.05	2	18728.03	1234.68	< 0.0001
AB	136.30	1	136.30	8.99	0.0171
AC	30.30	1	30.30	2.00	0.1953
BC	105.45	1	105.45	6.95	0.0299
<b>Residual</b>	121.35	8	15.17		
Lack of Fit	84.85	4	21.21	2.32	0.2170
Pure Error	36.50	4	9.13		
<b>Cor Total</b>	37866.00	13			

**Tabla 2R.**

Coeficientes del modelo matemático parámetro reológico Gelatinización Máxima de la masa.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-GQF	264.91	1	2.70	258.68	271.13	1.50
B-GKF	307.22	1	2.70	300.98	313.45	1.62
C-WF	428.60	1	2.70	422.36	434.83	1.62
AB	-45.95	1	15.33	-81.30	-10.60	1.55
AC	-21.66	1	15.33	-57.01	13.68	1.55
BC	-33.72	1	12.79	-63.21	-4.23	1.76

**Tabla 2S.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro reológico Resistencia a la Extensión de la masa.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
Linear	<b>0.0001</b>	<b>&lt; 0.0001</b>	<b>0.7726</b>	<b>0.6984</b>
<b>Quadratic</b>	0.1846	< 0.0001	0.8235	0.7483
Special Cubic	0.6135	< 0.0001	0.8060	-0.4486
Cubic	0.0033	< 0.0001	0.9725	-0.2632
Sp Quartic vs Quadratic	<b>0.0058</b>	<b>&lt; 0.0001</b>	<b>0.9725</b>	<b>-0.2632</b>
Quartic vs Cubic	< 0.0001		1.0000	
Quartic vs Sp Quartic	< 0.0001		1.0000	

**Tabla 2T.**

Análisis de Varianza (ANOVA) para el parámetro reológico Resistencia a la Extensión de la masa.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
<b>Model</b>	4.359E+05	5	87173.55	13.13	0.0011
<sup>(1)</sup> Linear mixture	3.949E+05	2	1.975E+05	29.74	0.0002
AB	114.83	1	114.83	0.0173	0.8986
AC	37214.84	1	37214.84	5.60	0.0454
BC	3592.64	1	3592.64	0.5410	0.4830
<b>Residual</b>	53121.45	8	6640.18		
Lack of Fit	53119.95	4	13279.99	35413.30	< 0.0001
Pure Error	1.50	4	0.3750		
<b>Cor Total</b>	4.890E+05	13			

**Tabla 2U.**

Coeficientes del modelo matemático parámetro reológico Resistencia a la Extensión de la masa.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-GQF	821.16	1	56.50	690.86	951.46	1.50
B-GKF	944.72	1	56.56	814.29	1075.14	1.62
C-WF	1377.15	1	56.56	1246.72	1507.57	1.62
AB	42.18	1	320.71	-697.39	781.74	1.55
AC	-759.25	1	320.71	-1498.82	-19.68	1.55
BC	-196.81	1	267.57	-813.83	420.21	1.76

**Tabla 2V.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro reológico Resistencia a la Extensión de la masa.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
Linear	<b>0.0001</b>	<b>&lt; 0.0001</b>	<b>0.7726</b>	<b>0.6984</b>
<b>Quadratic</b>	0.1846	< 0.0001	0.8235	0.7483
Special Cubic	0.6135	< 0.0001	0.8060	-0.4486
Cubic	0.0033	< 0.0001	0.9725	-0.2632
Sp Quartic vs Quadratic	<b>0.0058</b>	<b>&lt; 0.0001</b>	<b>0.9725</b>	<b>-0.2632</b>
Quartic vs Cubic	< 0.0001		1.0000	
Quartic vs Sp Quartic	< 0.0001		1.0000	

**Tabla 2W.**

Análisis de Varianza (ANOVA) para el parámetro reológico Resistencia a la Extensión de la masa.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
<b>Model</b>	4.359E+05	5	87173.55	13.13	0.0011
<sup>①</sup> Linear mixture	3.949E+05	2	1.975E+05	29.74	0.0002
AB	114.83	1	114.83	0.0173	0.8986
AC	37214.84	1	37214.84	5.60	0.0454
BC	3592.64	1	3592.64	0.5410	0.4830
<b>Residual</b>	53121.45	8	6640.18		
Lack of Fit	53119.95	4	13279.99	35413.30	< 0.0001
Pure Error	1.50	4	0.3750		
<b>Cor Total</b>	4.890E+05	13			

**Tabla 2X.**

Coefficientes del modelo matemático parámetro reológico Resistencia a la Extensión de la masa.

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
<b>A-GQF</b>	821.16	1	56.50	690.86	951.46	1.50
<b>B-GKF</b>	944.72	1	56.56	814.29	1075.14	1.62
<b>C-WF</b>	1377.15	1	56.56	1246.72	1507.57	1.62
<b>AB</b>	42.18	1	320.71	-697.39	781.74	1.55
<b>AC</b>	-759.25	1	320.71	-1498.82	-19.68	1.55
<b>BC</b>	-196.81	1	267.57	-813.83	420.21	1.76

**Tabla 2Y.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro reológico Extensibilidad de la masa.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
Linear	0.0176		0.4332	0.2345
<b>Quadratic</b>	0.0140		0.7788	0.5307
Special Cubic	0.0079		0.9138	0.5557
Cubic	0.0017		0.9906	0.5662
Sp Quartic vs Quadratic	<b>0.0002</b>		<b>0.9906</b>	<b>0.5662</b>
Quartic vs Cubic			1.0000	
Quartic vs Sp Quartic			1.0000	

**Tabla 2Z.**

Análisis de Varianza (ANOVA) para el parámetro reológico Extensibilidad de la masa.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
<b>Model</b>	574.44	5	114.89	10.16	0.0026
<sup>(1)</sup> Linear mixture	346.02	2	173.01	15.29	0.0018
AB	85.38	1	85.38	7.55	0.0252
AC	88.09	1	88.09	7.79	0.0235
BC	34.70	1	34.70	3.07	0.1180
<b>Residual</b>	90.49	8	11.31		
Lack of Fit	90.49	4	22.62		
Pure Error	0.0000	4	0.0000		
<b>Cor Total</b>	664.93	13			

**Tabla 2Z'.**

Coeficientes del modelo matemático parámetro reológico Extensibilidad de la masa.

<b>Component</b>	<b>Coefficient Estimate</b>	<b>df</b>	<b>Standard Error</b>	<b>95% CI Low</b>	<b>95% CI High</b>	<b>VIF</b>
<b>A-GQF</b>	90.96	1	2.33	85.58	96.34	1.50
<b>B-GKF</b>	69.93	1	2.33	64.55	75.31	1.62
<b>C-WF</b>	77.17	1	2.33	71.79	82.55	1.62
<b>AB</b>	-36.37	1	13.24	-66.89	-5.84	1.55
<b>AC</b>	-36.94	1	13.24	-67.46	-6.41	1.55
<b>BC</b>	19.34	1	11.04	-6.12	44.81	1.76

### ANEXO III

**Tabla 3A.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro ORAC

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
Linear	0.0935	0.1442	0.2319	-0.0523
Quadratic	0.4229	0.0604	0.2417	
Special Cubic	<b>0.0604</b>		<b>0.4945</b>	

**Tabla 3B.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro GABA

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
Linear	0.8240	0.0123	-0.1409	-0.2610
<b>Quadratic</b>	<b>0.0037</b>	<b>0.6317</b>	<b>0.6846</b>	
Special Cubic	0.6317		0.6520	

**Tabla 3C.**

Análisis de Varianza (ANOVA) para el parámetro GABA

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
<b>Model</b>	192.40	5	38.48	6.64	0.0099
<sup>(1)</sup> Linear mixture	8.26	2	4.13	0.7128	0.5190
AB	176.57	1	176.57	30.49	0.0006
AC	130.80	1	130.80	22.58	0.0014
BC	143.51	1	143.51	24.78	0.0011
<b>Residual</b>	46.33	8	5.79		
Lack of Fit	1.60	1	1.60	0.2511	0.6317
Pure Error	44.73	7	6.39		
<b>Cor Total</b>	238.74	13			

**Tabla 3D.**

Coefficientes del modelo matemático parámetro GABA

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
<b>A-GQF</b>	-39.67	1	8.48	-59.23	-20.10	26.24
<b>B-GKF</b>	-41.12	1	8.68	-61.13	-21.11	30.69
<b>C-WF</b>	-31.30	1	8.68	-51.30	-11.29	30.69
<b>AB</b>	179.69	1	32.54	104.64	254.73	27.65
<b>AC</b>	154.65	1	32.54	79.61	229.70	27.65
<b>BC</b>	161.99	1	32.54	86.95	237.04	39.08



**Tabla 3E.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro GABA

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
Linear	0.0935	0.1442	0.2319	-0.0523
Quadratic	0.4229	0.0604	0.2417	
Special Cubic	<b>0.0604</b>		<b>0.4945</b>	

**Tabla 3F.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro Ácido Fítico

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
Linear	<b>0.0010</b>	<b>0.4825</b>	<b>0.6635</b>	<b>0.5447</b>
Quadratic	0.4221	0.4030	0.6680	
Special Cubic	0.4030		0.6591	

**Tabla 3G:**

Criterios de optimización para las galletas a partir de granos andinos germinados.

Variable	condición	Límite Inferior	Límite Superior	Importancia
<b>A:GQF (%)</b>	is in range	5	25	3
<b>B:GKF (%)</b>	is in range	5	25	3
<b>C:WF (%)</b>	is in range	60	80	3
<b>GABA</b>	maximize	2.44031	17.7852	4
<b>ORAC</b>	maximize	51.3048	91.7591	4
<b>FPC</b>	maximize	125.715	246.491	4
<b>Ácido fítico</b>	minimize	0.154645	0.332819	3

Fuente: Desig Expert V12.0

## ANEXO IV

**Tabla 4A.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro ORAC

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
<b>Linear</b>	<b>0.0061</b>	<b>0.4060</b>	<b>0.5329</b>	<b>0.3373</b>
<b>Quadratic</b>	0.3575	0.4033	0.5616	-0.0420
<b>Special Cubic</b>	0.2963	0.4004	0.5761	-0.3540
<b>Cubic</b>	0.7329	0.1656	0.4759	-9.5271
<b>Sp Quartic vs Quadratic</b>	0.6620	0.1656	0.4759	-9.5271
<b>Quartic vs Cubic</b>	0.1656		0.6184	
<b>Quartic vs Sp Quartic</b>	0.1656		0.6184	

**Tabla 4B.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro TPC

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
<b>Linear</b>	0.0010	0.0597	0.7646	0.5673
<b>Quadratic</b>	<b>0.0153</b>	<b>0.2487</b>	<b>0.8662</b>	<b>0.6319</b>
<b>Special Cubic</b>	0.2361	0.2604	0.8767	0.4608
<b>Cubic</b>	0.1898	0.3532	0.9112	0.0126
<b>Sp Quartic vs Quadratic</b>	0.1891	0.3532	0.9112	0.0126
<b>Quartic vs Cubic</b>	0.3532		0.9130	
<b>Quartic vs Sp Quartic</b>	0.3532		0.9130	

**Tabla 4C.**

Análisis de Varianza (ANOVA) para el parámetro TPC

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
<b>Model</b>	3463.47	5	692.69	17.84	0.0004
<sup>(1)</sup> Linear mixture	2703.10	2	1351.55	34.80	0.0001
AB	304.15	1	304.15	7.83	0.0233
AC	527.02	1	527.02	13.57	0.0062
BC	6.11	1	6.11	0.1574	0.7019
<b>Residual</b>	310.69	8	38.84		
Lack of Fit	209.61	4	52.40	2.07	0.2487
Pure Error	101.09	4	25.27		
<b>Cor Total</b>	3774.16	13			

**Tabla D.**

Coeficientes del modelo matemático parámetro TPC

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
<b>A-GQF</b>	92.72	1	4.32	82.76	102.69	1.50
<b>B-GKF</b>	55.23	1	4.33	45.26	65.21	1.62
<b>C-WF</b>	59.43	1	4.33	49.46	69.41	1.62
<b>AB</b>	-68.64	1	24.53	-125.20	-12.08	1.55
<b>AC</b>	90.35	1	24.53	33.79	146.91	1.55
<b>BC</b>	-8.12	1	20.46	-55.31	39.07	1.76

**Tabla 4E.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro Ácido Fítico

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
<b>Linear</b>	<b>0.0010</b>	<b>0.2059</b>	<b>0.6656</b>	<b>0.5594</b>
<b>Quadratic</b>	0.3270	0.2007	0.6943	0.3401
<b>Special Cubic</b>	0.5946	0.1512	0.6655	-0.7426
<b>Cubic</b>	0.1803	0.1751	0.7640	-3.5948
<b>Sp Quartic vs Quadratic</b>	0.2659	0.1751	0.7640	-3.5948
<b>Quartic vs Cubic</b>	0.1751		0.8241	
<b>Quartic vs Sp Quartic</b>	0.1751		0.8241	

**Tabla 4F.**

Significancia de los modelos de regresión para el parámetro GABA

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R <sup>2</sup>	Predicted R <sup>2</sup>
<b>Linear</b>	<b>0.2929</b>	<b>0.6486</b>	<b>0.0547</b>	<b>-0.3124</b>
<b>Quadratic</b>	0.9405	0.4252	-0.2401	-1.0021
<b>Special Cubic</b>	0.3840	0.3885	-0.2618	-3.3282
<b>Cubic</b>	0.9984	0.1192	-0.7653	-40.4686
<b>Sp Quartic vs Quadratic</b>	0.8878	0.1192	-0.7653	-40.4686
<b>Quartic vs Cubic</b>	0.1192		-0.1160	
<b>Quartic vs Sp Quartic</b>	0.1192		-0.1160	

**Tabla 4G:**

Criterios de optimización para los panes de molde a partir de granos andinos germinados.

Variable	condición	Límite Inferior	Límite Superior	Importancia
<b>A:GQF (%)</b>	is in range	5	15	3
<b>B:GKF (%)</b>	is in range	5	15	3
<b>C:WF (%)</b>	is in range	80	90	3
<b>GABA</b>	maximize	3.37904	21.7719	3
<b>ORAC</b>	maximize	23.4502	46.8825	4
<b>FPC</b>	maximize	52.939	103.658	4
<b>Ácido fítico</b>	minimize	0.236973	0.371887	3

Fuente: Desig Expert V12.0

## ANEXO V



Harina de kiwicha



Harina de quinua



Incorporación de ingredientes secos



1er Mezclado de ingredientes secos



2do Mezclado incluyendo los ingredientes líquidos (agua, sal y azúcar)



3er Mezclado incluyendo los ingredientes líquidos (aceite)



Amasado



Amasado



Pesado de masa



Piezas de masa



Boleado



Acondicionamiento para fermentación





**Figura 5A.** Proceso para la elaboración de pan de molde a partir de harinas germinadas de kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Centenario*) y quinua (*Chenopodium quinoa* var. *Pasankalla*)



**Figura 5B.** Muestras de pan de molde deshidratado a partir de harinas germinadas de kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Centenario*) y quinua (*Chenopodium quinoa* var. *Pasankalla*) para cuantificación de compuestos.