



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**TESIS**

**PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES, TÉRMICAS Y ESTRUCTURALES DE UNA MEZCLA ALIMENTICIA EXTRUIDA Y FORTIFICADA CON PULPA DE NOPAL (*Opuntia ficus indica*) Y HARINA DE QUINUA GERMINADA (*Chenopodium quinoa Willd*)**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN  
CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**AUTOR**

Br. MIRIAN ESTÉFANI OBREGÓN  
YUPANQUI

**ASESOR:**

Dr. DAVID CHOQUE QUISPE

**CODIGO ORCID:** [0000-0003-4002-7526](https://orcid.org/0000-0003-4002-7526)

**CUSCO – PERÚ**

**2023**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: PROPIEDADES TECNOLÓGICAS, TÉRMICAS Y ESTRUCTURALES DE UNA MEZCLA ALIMENTICIA EXTRUIDA Y FORTIFICADA CON PULPA DE NOPAL (*Opuntia ficus indica*) Y HARINA DE QUINUA GERMINADA (*Chenopodium quinoaWilld*) presentado por: Br. Mirian Estéfani Obregón Yupanqui con Nro. de DNI: 71658412, para optar el título profesional/grado académico de Grado de Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 3 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9 %.

## Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 27 de diciembre de 2023



.....  
Firma

Post firma: David Choque Quispe

Nro. de DNI: 25003361

ORCID del Asesor: [0000-0003-4002-7526](https://orcid.org/0000-0003-4002-7526)

ORCID del Co -Asesor: [0000-0002-1835-2210](https://orcid.org/0000-0002-1835-2210)

Nro. de DNI: 31166988

### Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio:  
<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:300858389?locale=es-MX>

NOMBRE DEL TRABAJO

**INFORME DE TESIS MIRIAN OBREGON.pdf**

RECUENTO DE PALABRAS

**21349 Words**

RECUENTO DE PÁGINAS

**83 Pages**

FECHA DE ENTREGA

**Dec 27, 2023 8:36 AM GMT-5**

RECUENTO DE CARACTERES

**113533 Characters**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**2.1MB**

FECHA DEL INFORME

**Dec 27, 2023 8:38 AM GMT-5****● 9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

## **DEDICATORIA**

Esto está dedicado a mis padres, Hilaria Yupanqui y Jorge Obregón, por su comprensión, cuidado y apoyo moral e incondicional en cada paso de mi vida.

“Celebra tus logros, porque nadie entiende realmente lo que te costó alcanzar”.

## **INDICE**

RESUMEN .....	8
ABSTRACT .....	9
INTRODUCCION.....	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1. Situación problemática.....	11
1.2. Formulación del problema .....	12
1.2.1. Problema general .....	12
1.2.2. Problemas específicos.....	12
1.3. Justificación de la investigación .....	12
1.4. Objetivos de la investigación .....	13
1.4.1. Objetivo general .....	13
1.4.2. Objetivo específico .....	13
II. MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....	14
2.1. Bases teóricas.....	14
2.1.1. Nopal .....	14
2.1.2. Quinoa .....	15
2.1.3. Propiedades tecnofuncionales.....	17
2.1.4. Técnicas para evaluar las propiedades térmicas .....	19
2.1.5. Técnica para determinar las Propiedades estructurales .....	21
2.2. Marco conceptual.....	24
2.2.1. Extruido .....	24
2.2.2. Propiedades tecnofuncionales.....	24
2.2.3. Propiedades térmicas .....	24
2.2.4. Propiedades estructurales .....	24
2.3. Antecedentes de investigación.....	24
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	29
3.1. Hipótesis general.....	29

3.2.	Hipótesis específicas .....	29
3.3.	Variable e indicador .....	29
3.3.1.	Variable independiente .....	29
3.3.2.	Variables dependientes .....	29
3.3.3.	Operacionalización de variables .....	30
3.3.3.1.	Diseño de experimentos .....	31
IV.	METODOLOGÍA.....	31
4.1.	Ámbito de estudio .....	31
4.2.	Tipo y nivel de investigación.....	31
4.3.	Unidad de análisis .....	32
4.4.	Población de estudio .....	32
4.5.	Acondicionamiento de la materia prima .....	32
4.5.1.	Obtención de la harina de quinua germinada .....	32
4.5.2.	Obtención del Mucilago de nopal.....	33
4.5.3.	Obtención del Extruido.....	34
4.6.	Técnicas de recolección de información.....	36
4.6.1.	Análisis de propiedades tecnofuncionales .....	36
4.6.2.	Técnica para el Análisis de propiedades térmicas .....	37
4.6.3.	Técnica para Análisis de propiedades estructurales .....	38
4.7.	Técnicas de análisis e interpretación de la información .....	38
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
5.1.	Análisis fisicoquímico .....	39
5.2.	Propiedades Tecno funcionales.....	39
5.2.1.	Índice de expansión .....	39
5.2.2.	Índice de absorción de agua.....	41
5.2.3.	Índice de solubilidad del agua .....	42
5.2.4.	Actividad de agua .....	44

5.2.5. Color .....	45
5.3. Propiedades Térmicas .....	46
5.3.1. Calorímetro diferencial de barrido .....	46
5.3.2. Termo gravimetría .....	48
5.4. Propiedades estructurales.....	50
5.4.1. Grupos funcionales.....	50
5.4.2. Caracterización superficial .....	52
VI. CONCLUSIÓN .....	53
VII. RECOMENDACIÓN .....	55
BIBLIOGRAFÍA .....	56
ANEXO 1 .....	67
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	67
Anexo 2. Análisis estadístico del análisis proximal.....	69
Anexo 3. Análisis estadístico de las propiedades tecnofuncionales .....	73
Anexo 4. Panel Fotográfico .....	80
Anexo 5. Certificado de la muestra de quinua .....	82

## Índice de Tablas

Tabla 1. Composición proximal de <i>Opuntia ficus indica</i> .....	15
Tabla 2. Variables Independiente .....	29
Tabla 3. Variables Independiente .....	29
Tabla 4. Operacionalización de variables.....	30
Tabla 5. Formulación para la elaboración de extruidos.....	31
Tabla 6. Análisis fisicoquímico proximal de las mezclas extruidas.....	39
Tabla 7. Propiedades tecno funcionales de la mezcla extruida .....	40
Tabla 8. Evaluación del color.....	45

## Índice de Figura



Figura 1. Termograma del DSC .....	20
Figura 2. Termograma del TGA .....	21
Figura 3. Espectro FT-IR-ATR .....	22
Figura 4. Diagrama de flujo para la obtención de la harina de quinua germinada.....	33
Figura 5. Diagrama de flujo para la obtención del mucilago de nopal.....	34
Figura 6. Diagrama de flujo de obtención de extruido .....	36
Figura 7. Superficie de respuesta y diagrama de Pareto del Índice de expansión.....	41
Figura 8. Superficie de respuesta y diagrama de Pareto del Índice de absorción de agua ..	42
Figura 9. Superficie de respuesta y diagrama de Pareto del índice de solubilidad del agua	43
Figura 10. Superficie de respuesta y diagrama de Pareto de la actividad de agua .....	44
Figura 11. Curva DSC de tratamientos de extruidos y harina de quinua germinada .....	46
Figura 12. Curva TGA y DTG de muestras de las mezclas extruidas.....	48
Figura 13. Espectros IR de las mezclas extruidas .....	50
Figura 14. SEM imágenes de los extruidos por 500x magnificación.....	52

### **Hoja de Abreviaturas:**

DSC: Calorímetro diferencial de barrido  
TGA: Analizador termogravimétrico  
SEM: Microscopio electrónico de barrido  
FTIR: Infrarrojo Transformado de Fourier  
MN: mucilago de nopal  
HQG: harina de quinua germinada  
OH: otras harinas  
IE: Índice de expansión  
IAA: Índice de absorción de agua  
ISA: Índice de solubilidad de agua  
Aw: actividad de agua.

## RESUMEN

En la actualidad los extruidos tienen un alto consumo, aunque estos requieren obtener un mayor valor nutricional, y esto se puede lograr adicionando otros constituyentes. La investigación tuvo como objetivo evaluar las propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal (*Opuntia ficus indica*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa Willd*). Se elaboraron extruidos con una formulación comercial y se añadió harina de quinua germinada entre 10 a 20% y mucilago de nopal entre 5 a 10%. Se evaluó las propiedades tecnofuncionales, propiedades térmicas (DSC y TGA) y propiedades estructurales (pruebas SEM y análisis IR). Se determinó que el mucilago de nopal tiene efecto en las propiedades tecnofuncionales como el índice de solubilidad de agua, actividad de agua y color. Las propiedades térmicas con la técnica de DSC mostraron termogramas similares las cuales se encuentran inferior a la temperatura de extrusión y con la técnica TGA se muestra la descomposición térmica entre 240 - 347 °C donde se observa mayor pérdida de masa. En el análisis FTIR mostraron un pico intenso con una banda de 1150 cm<sup>-1</sup> de estiramiento C - O del grupo éster en la estructura C - O - C y en C - OH del anillo glicosídico de gránulos de almidón y también una banda de 1024 cm<sup>-1</sup> (maltosa). Respecto a la caracterización superficial se muestran diferentes para cada tratamiento, se encontró estructura con alveolos abiertos y otra estructura más cerrada y compacta. La adición de HQG y MN mejoran considerablemente las propiedades tecnofuncionales y estructurales del expandido convirtiendo en un potencial de uso en la industria alimentaria.

Palabras clave: Expandido, harina de quinua germinada, mucilago de nopal, propiedades estructurales, propiedades tecnofuncionales, propiedades térmicas.

## ABSTRACT

At present, expanded foods have high consumption rates, although they require a higher nutritional value, which can be achieved by adding other constituents. The aim of the study was to evaluate the techno-functional, thermal, and structural properties of the extruded and fortified food mixture with nopal pulp (*Opuntia ficus indica*) and germinated quinoa flour (*Chenopodium quinoa* Willd). Expanded formulations were prepared with commercially available ingredients, adding 5-10% germinated quinoa flour and nopal mucilage. Expanded formulations were prepared with commercially available ingredients, adding 5-10% germinated quinoa flour and nopal mucilage. It was found that nopal mucilage has an effect on technofunctional properties such as water solubility index, water activity, and colour. Technofunctional properties, thermal properties (DSC and TGA), and structural properties (SEM tests and IR analysis) were evaluated. Expanded formulations were prepared with commercially available ingredients, adding 5-10% germinated quinoa flour and nopal mucilage. The thermal properties using the DSC technique showed similar thermograms which are lower than the extrusion temperature, and with the TGA technique, thermal decomposition is shown between 240-347°C, where a greater mass loss is observed. In the FTIR analysis, an intense peak with a band of 1150 cm<sup>-1</sup> stretching the C-O of the ester group in the C-O-C structure and in the C-OH of the glycosidic ring of starch granules, and also a 1024 cm<sup>-1</sup> band (maltose) were shown. Regarding the surface characterization, different results were shown for each treatment. A structure with open alveoli and another, more closed and compact structure were found. Keywords: The addition of HQG and MN significantly improves the techno-functional and structural properties of the expanded material, making it a potential use in the food industry.

Expandido, sprouted quinoa flour, nopal mucilage, structural properties, techno-functional properties, thermal properties.

## INTRODUCCION

Los extruidos son alimentos de consumo masivo, y adquieren mayor valor nutricional cuando se agregan otros constituyentes de fuente proteica y fibras. El objetivo de la investigación fue evaluar las propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales en un extruido fortificado con pulpa de nopal (*Opuntia ficus indica*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoaWilld*).

Asimismo, se tiene investigaciones que se han elaborado extruidos a base de diferentes leguminosas y granos andinos. Los cereales son ampliamente consumidos por el poblador sobre todo de los andes peruanos es la quinua a quien se le atribuye altos contenidos de proteínas y aminoácidos esenciales, y que estos mejoran cuando sus granos son germinados, logrando incrementar hasta en 12% (Leguía, 2018), sin embargo, podrían no presentar buenas propiedades tecno-funcionales, térmicas y estructurales.

Esta investigación pretende buscar nuevas alternativas en extruidos con una sustitución parcial de mucilago de nopal y harina de quinua germinada por harina de maíz y harina de arroz, para analizar las propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales. Por lo tanto, en este trabajo se evaluó las propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales de una mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal (*Opuntia ficus indica*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoaWilld*).

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Situación problemática**

Uno de los aspectos críticos en el desarrollo y el crecimiento de los niños es la alimentación, la cual está basada en una dieta balanceada que contenga proteínas, carbohidratos, minerales, vitaminas y fibras, y para lograr que un alimento contenga estas características es necesario formular alimentos balanceados, como fuente de estos nutrientes, siendo los cereales y frutos o plantas nativas las podrían conceder estas características.

Los cereales son ampliamente consumidos por el poblador sobre todo de los andes peruanos es la quinua a quien se le atribuye altos contenidos de proteínas y aminoácidos esenciales, y que estos mejoran cuando sus granos son germinados, logrando incrementar hasta en 12% (Leguía, 2018), sin embargo, podrían no presentar buenas propiedades tecnofuncionales como harinas, y que al utilizarse como sucedáneos tendrían que considerarse este comportamiento.

Los productos extruidos generalmente son obtenidos a partir de una mezcla de harinas ya sean fortificadas y/o enriquecidas, y que uno de los aspectos críticos de estos productos son sus propiedades tecnofuncionales, como el índice de expansión (IE), Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad de agua (ISA), actividad de agua ( $A_w$ ) y color por ello es necesario conocer el comportamiento de estas cuando se utilizan diferentes materias primas en su formulación.

Así mismo, es importante aplicar la técnica DSC y TGA, debido a que proporciona información valiosa para la calidad del producto final. Además, las propiedades estructurales como la caracterización superficial y la identificación de grupos funcionales.

Existen diversos frutos o plantas nativas que además de sus propiedades alimenticias, podrían conceder propiedades tecnofuncionales adecuadas en los extruidos, uno de estos alimentos podría ser el mucilago de nopal, el cual no tiene un consumo frecuente, asimismo este producto, es utilizado como sucedáneo en harinas, películas comestibles entre otros; así la pulpa de nopal presenta un contenido alto de carbohidratos, proteínas y fibra tanto soluble como insoluble, por lo que fácilmente se puede usar en la formulación de extruidos.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuáles son las propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal (*Opuntia ficus indica*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa Willdenow*)?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ✓ ¿Cuáles son las propiedades tecnofuncionales de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal y harina de quinua germinada?
- ✓ ¿Cuáles son las propiedades térmicas de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal y harina de quinua germinada?
- ✓ ¿Cuáles son las propiedades estructurales de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal y harina de quinua germinada?

## **1.3. Justificación de la investigación**

Existe una necesidad urgente de mejorar la eficiencia y eficacia para impulsar las cadenas alimentarias. Se estima que la población mundial alcance al menos 8.000 millones para el año 2060. Esto requerirá hasta un 70% más de alimentos y exigirá que el sistema de producción de alimentos y la cadena alimentaria sean totalmente sostenibles. Este desafío se complica por problemas como las limitaciones en la cadena de suministro, las restricciones ambientales, el envejecimiento poblacional y los cambios en las preferencias y patrones de consumo. En este contexto, la seguridad alimentaria debe facilitar y no inhibir la provisión de alimentos a nivel global (Merino y Vila, 2017).

Debido al aumento en el uso de harina para desarrollar productos alimenticios, las propiedades técnicas funcionales se han vuelto muy importantes. Las propiedades tecnofuncionales entregan información esencial para las formulaciones de alimentos, especialmente en mezclas de harinas donde la proteína es el componente funcional principal. Destacan aquellas relacionadas con la interacción con el agua, dado su influencia en los principales cambios que ocurren durante el procesamiento.

La extrusión de alimentos es una tecnología emergente que permite procesar y comercializar grandes cantidades de productos con diferentes formas, texturas y sabores. Esta tecnología tiene amplia aplicación en pastas, cereales, bocadillos, confitería, alimentos para

mascotas, entre otros. Las propiedades funcionales de los extruidos como la absorción de agua, solubilidad, expansión y viscosidad, juegan un rol clave en su aceptabilidad (Morales, 2019).

Algunas variables que influyen en las cualidades del producto extruido son la configuración del tornillo, velocidad, temperatura y la composición de la mezcla. Los ingredientes suelen tener alto contenido de almidón dada su capacidad de absorber agua y experimentar transiciones térmicas que definen la expansión y textura final (Castellanos et al., 2019).

Las propiedades térmicas como la temperatura de gelatinización se estudian mediante calorimetría, mientras que las de empastado indican la capacidad de espesar o formar geles. El conocimiento de la higroscopicidad es esencial para determinar la estabilidad y diseñar sistemas de almacenaje, envasado y secado que prolonguen la vida útil (Vito, 2019).

#### **1.4. Objetivos de la investigación**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar las propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal (*Opuntia ficus indica*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa Willd.*).

##### **1.4.2. Objetivo específico**

- ✓ Determinar las propiedades tecnofuncionales de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal y harina de quinua germinada.
- ✓ Determinar las propiedades térmicas de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal y harina de quinua germinada.
- ✓ Determinar las propiedades estructurales de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal y harina de quinua germinar.



## II. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

### 2.1. Bases teóricas

#### 2.1.1. Nopal

El nopal (*Opuntia ficus indica*) es la cactácea que posee la mayor importancia agronómica a nivel mundial, debido no solamente a sus deliciosos frutos, sino también a sus cladodios, los cuales son usados maduros como forraje o para consumo humano cuando son tiernos (Aguilar *et al.*, 2008).

El nopal es una planta con una altura de 1,5 a 3 metros. Los tallos son planos, llamados ramas, y son de color verde. Sus flores son amarillas y el fruto es de color amarillo, rojo y morado y tiene pequeñas semillas que suelen comerse con la pulpa. La planta se reproduce mediante semillas, pero también puede propagarse con relativa facilidad de forma vegetativa a partir de tallos desprendidos (Mercado, 2014).

#### a. Taxonómica

Según Melgarejo (2000), el nopal presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Vegetal

División: Angiospermae

Clase: Dicotiledóneae

Orden: Opuntiales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Opuntioideae

Tribu: Opuntiae

Género: *Opuntia*

Especie: *Opuntia spp.*

#### b. Composición proximal de la pulpa del nopal

Según Castillo *et al.* (2013), la composición proximal de *Opuntia ficus indica* se indica en la Tabla 1.

Tabla 1.

*Composición proximal de Opuntia ficus indica*

Componente	Composición cladodio de 1 mes de edad (aprox.)	Composición cladodio de 1 año de edad (aprox.)
Humedad (%)	92.55	94.32
Proteína (%)	0.94	0.48
Grasa (%)	0.17	0.11
Fibra (%)	0.30	1.06
Cenizas (%)	0.08	1.60
Carbohidratos (%)	5.96	2.43

Nota: En esta tabla se muestra la composición proximal de *Opuntia ficus indica* (Guzmán y Chávez, 2007)

### 2.1.2. Quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa Willdenow*) es un cultivo antiguo que puede desempeñar un papel importante para la seguridad alimentaria mundial. Además de su alto contenido de fibra y un buen equilibrio de vitaminas y minerales, proteínas, lípidos y aminoácidos esenciales, se ha demostrado que la quinua contiene varios fitoquímicos, como saponinas, fenólicos y péptidos bioactivos. Estos compuestos pueden tener efectos beneficiosos sobre la salud metabólica, cardiovascular y gastrointestinal (Vilcacundo y Hernández, 2017).

Las semillas de quinua constituyen una excelente fuente de nutrientes, pues poseen cantidades apreciables de ácidos grasos esenciales, vitaminas, minerales y fibra dietética. Además, son ricas en proteínas con todos los aminoácidos, sin que esto vaya asociado a la presencia de gluten, lo cual permite considerarlas como aptas para personas con trastornos relacionados a esta proteína (Rojas et al., 2014). Más allá de este completo perfil nutricional, estudios recientes revelan que estos granos andinos albergan diversos compuestos bioactivos antioxidantes como carotenoides, vitamina C y sustancias fenólicas que podrían contribuir a la prevención de ciertos padecimientos crónicos, en especial tipos de cáncer y procesos alérgicos (Pereira et al., 2019).

### a. Taxonomica

Según Apaza et al. (2013), la quinua presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Vegetal

División: Fanerógamas

Clase: Dicotiledóneas

Subclase: Angiospermas

Orden: Centrospermales

Familia: Chenopodiaceae

Género: *Chenopodium*

Sección: Chenopodia

Subsección: Cellulata

Especie: *Chenopodium quinoa Willdenow*

### b. Composición química de la quinua

Componente	Composición de la Quinua
Humedad (%)	8,44
Proteína (%)	16,19
Grasa (%)	5,20
Fibra (%)	1,84
Cenizas (%)	2,00
ELN (%)	66,33
Energía (Kcal/100g)	372,09

Nota: En esta tabla se muestra la composición proximal de *Chenopodium quinoa Willdenow* (Pereira, 2014)

### c. Propiedades nutricionales de la quinua

Las semillas de quinua revelan ausencia total de gluten, altos niveles de ácidos grasos, vitaminas, minerales, fibras dietéticas y proteínas con mayor cantidad de aminoácidos (Gómez et al., 2014, Aziz et al., 2018, Pellegrini et al., 2018). Además de ser ricas en nutrientes, se ha descubierto que estas semillas contienen varios compuestos bioactivos como carotenoides, vitamina C y compuestos fenólicos que, según se ha demostrado en muchos estudios, previenen diversas enfermedades, especialmente el cáncer, alergias, enfermedades inflamatorias, y puede reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, considerando las semillas de quinua un alimento funcional (Gómez et al., 2014, Nowak et al., 2016).

#### **d. Germinación de semillas**

La germinación consiste en un procesos metabólico y morfogénético donde se da la transformación de embriones en una plántula. Los granos germinados desencadenan una serie de procesos enzimáticos que mejoran su digestibilidad y aumentan su valor nutricional (Matilla, 2003). La germinación puede darse por la presencia del contacto de las semillas con agua, calor y oxígeno, con estos tres elementos es suficiente para que las enzimas diastasas se activen y den lugar a nuevas reacciones (Goyoaga, 2005).

#### **2.1.3. Propiedades tecnofuncionales**

En general, las propiedades tecnofuncionales son afectadas por varios factores que se pueden clasificar en dos grupos, factores intrínsecos y extrínsecos. Los factores intrínsecos son: composición y secuencia de aminoácidos, forma, tamaño, relación entre hidrofobicidad/hidrofilicidad, conformación y reactividad. Los factores extrínsecos pueden afectar las propiedades tecnofuncionales de la proteína pura incluyen el pH, la fuerza iónica, la temperatura, la conformación, la relación entre hidrofobicidad/hidrofilia y método de extracción. Además de estos factores, en el caso de los productos proteicos, como la harina, el concentrado y el aislado, varios factores adicionales, incluida la proporción de proteínas principales y las condiciones de procesamiento, pueden tener un efecto crucial en sus propiedades tecnofuncionales (Barác et al., 2015)

#### **a. Índice de expansión (IE)**

El índice de expansión está relacionado estrechamente con la densidad del producto. Se define como la relación entre el área de la sección transversal del producto extruido y la matriz (Makila et al., 2014).

El IE es un proceso de cocción por extrusión de alimentos la expansión del producto, pero también describe la calidad del producto y está directamente relacionada con el grado de cocción. Por lo tanto, la comprensión de los efectos de los parámetros del proceso en la expansión del extruido se vuelve crucial en el proceso de cocción por extrusión (Ajita y Jha, 2017).

Se desarrolló un modelo general de expansión de extruido que incluye la expansión radial longitudinal y volumétrica, Aunque la mayoría de estos estudios utilizaron la expansión radial como medida de la calidad para la expansión del extruido (Alam et al., 2015).

#### **b. Índice de absorción de agua (IAA)**

El índice de absorción de agua (IAA) es una medida del volumen ocupado por el almidón tras hincharse en un exceso de agua. Se ve afectado por la magnitud de la interacción intra e intermolecular dentro de la estructura amorfa y cristalina. Cuando el almidón se gelatiniza por extrusión, su estructura cristalina se altera debido a la ruptura de los enlaces de hidrógeno inter e intramoleculares, lo que da lugar a grupos hidroxilo más expuestos para formar enlaces de hidrógeno con el agua. Además, las moléculas de agua pueden difundirse en la parte amorfa del almidón extruido más fácilmente que en el almidón nativo (Liu et al., 2017).

#### **c. Índice de solubilidad de agua (ISA)**

El índice de solubilidad (ISA) informa sobre la degradación. Se han observado diferentes resultados en cuanto al efecto de la adición de subproductos alimentarios sobre la funcionalidad del extrusionado (Altan y Maskan, 2012).

El aumento de ISA se asocia con una mayor gelatinización del almidón durante la preparación de la extrusión. Así como también, se ha propuesto que las interacciones moleculares entre el almidón degradado, la proteína y los componentes lipídicos que conducen a un mayor peso molecular conducen a una menor solubilidad, con una combinación de condiciones duras y bajo contenido de humedad que dan como resultado mayor formación de productos solubles en agua (Altan y Maskan, 2012).

También se encontró que el ISA dependía de la cantidad de moléculas solubles involucradas en la degradación. Por lo tanto, cuando las cadenas de almidón se rompen en fragmentos más pequeños a velocidades de tornillo es más alta, la solubilidad en agua generalmente aumenta, lo que resulta una mayor fragmentación (Altan y Maskan, 2012).

#### **d. Actividad de agua**

Los datos de actividad del agua son importantes para el procesado de alimentos, como la deshidratación osmótica y el secado al aire. También está relacionado con el contenido de agua de los alimentos, particularmente agua que está disponible o no unida a solutos. Es fundamental en la vida útil de los alimentos, porque determina el agua disponible para el crecimiento de microorganismos y la actividad química y enzimática durante la conservación de un alimento (Cardona, 2019).

## **e. Color**

El color se da a conocer mediante: luminosidad, tonalidad y pureza de color. La luminosidad es el atributo de la sensación visual según la cual una superficie emite más o menos luz; el tono es el atributo de la sensación visual según la cual una superficie parece similar a uno, o a proporciones de dos, de los colores percibidos rojo, naranja, amarillo, verde, azul y púrpura; y la pureza es el atributo de la sensación visual según la cual una superficie parece mostrar más o menos tonalidad, o lo que es lo mismo, contenido de color de una superficie evaluado en proporción a su luminosidad ( Gilabert, 2007).

Los colorantes alimentarios se componen de diversos compuestos, principalmente compuestos orgánicos, algunos de los cuales se producen durante el procesamiento y procesamiento, algunos pigmentos naturales o agentes colorantes sintéticos añadidos. El color es una propiedad de la materia que se relaciona directamente con el espectro de la luz. Por lo tanto, se puede medir físicamente en términos de la energía radiante o la intensidad, y por la longitud de onda (Badui, 2006).

### **2.1.4. Técnicas para evaluar las propiedades térmicas**

Las propiedades térmicas comprenden un conjunto de técnicas que analizan el cambio de comportamiento de una muestra, cuando se la somete a un proceso programado de cambio de temperatura en atmósferas controladas: calentamiento, enfriamiento o isoterms (Vásquez, 2017).

El estudio de las propiedades térmicas de harinas se ha realizado principalmente sobre sus componentes mayoritarios, en especial sobre el almidón y su interacción con otros componentes involucrados en la producción, y con el agua presente en el proceso (Rosentrater, 2006).

#### **a. Técnica por Calorimetría diferencial de barrido (DSC)**

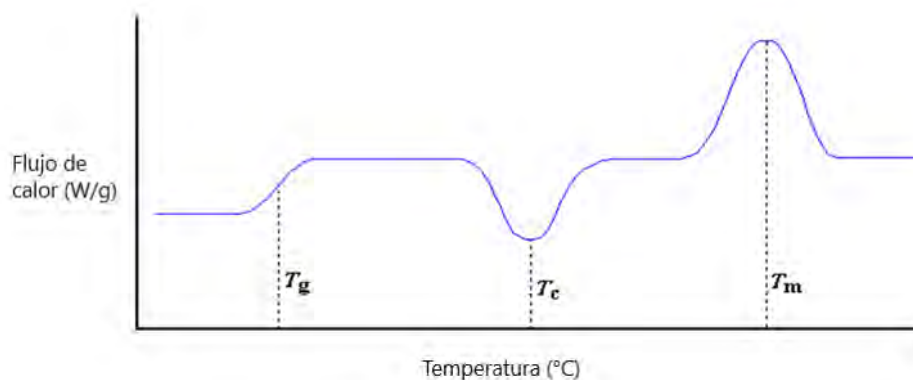
La calorimetría diferencial de barrido (DSC, por sus siglas en inglés) es una técnica analítica que cuantifica el calor que absorbe o libera una sustancia al ser expuesta a un programa controlado de temperatura, ya sea manteniéndola constante por cierto periodo o variándola gradualmente en el tiempo. Mediante esta metodología es factible determinar parámetros críticos sobre el comportamiento térmico de un material y las transiciones energéticas que experimenta, conocimientos que resultan fundamentales para evaluar la estabilidad térmica de cualquier sistema. Dicho de otro modo, la caracterización precisa de los cambios térmicos constituye información primordial para estimar la viabilidad de posibles aplicaciones

industriales de los materiales estudiados (Surinach et al., 1992). Así, la técnica DSC entrega antecedentes decisivos sobre la respuesta de los materiales frente a la temperatura, vitales para dimensionar adecuadamente procesos y productos donde el calor puede ser un factor relevante.

La calorimetría diferencial de barrido permite examinar cómo varía la capacidad calorífica ( $C_p$ ) de un material al modificar su temperatura. Consiste en someter una muestra de masa conocida a un programa de calentamiento o enfriamiento, mientras se registran los cambios en la cantidad de calor que debe proveerse o sustraerse en función de la temperatura, para mantener la velocidad de variación térmica controlada. Es decir, el equipo detecta diferencias en el flujo calórico necesario en cada punto respecto a una referencia inerte. Los datos resultantes representan la capacidad o contenido calórico (entalpía) en puntos específicos, propiedades útiles para estimar la eficiencia de procesos térmicos o reacciones químicas (Sandoval et al., 2006). Así, el DSC entrega información crítica sobre eventos térmicos en el material examinado, como transiciones de fase, descomposiciones, oxidaciones, entre otros; mediante variaciones mensurables y características en su capacidad de intercambio de calor.

Figura 1.

*Termograma del Calorímetro diferencial de barrido (DSC)*



*Nota:* Termograma del calorímetro diferencial de barrido (Prieto, 2008).

#### **b. Técnica por Termogravimetría (TGA)**

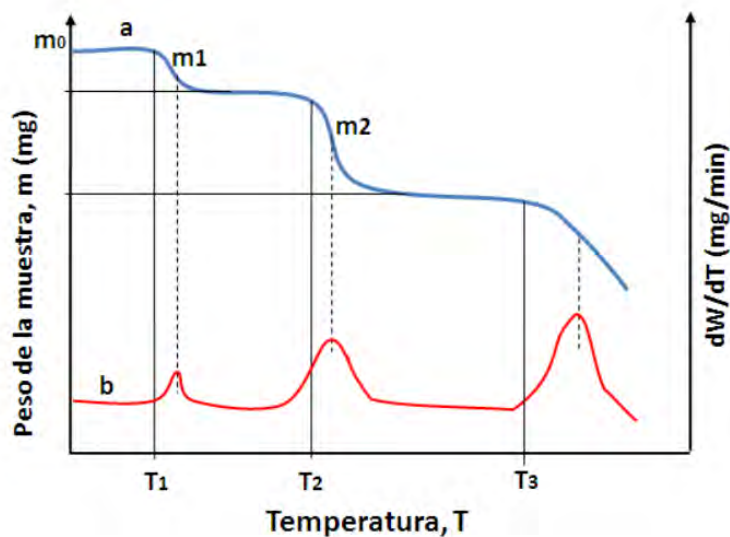
El análisis termogravimétrico (TGA) es una técnica de caracterización térmica en la que se registra la variación de masa de una muestra en función del tiempo o la temperatura, mientras se somete a la muestra a un programa controlado de temperatura. Esta técnica permite determinar propiedades importantes de los materiales como la composición, estabilidad

térmica, pureza, cinéticas de descomposición, oxidación y evaporación. Según Pineda et al. (2011), el TGA tiene numerosas aplicaciones en el análisis de características, composición, tasas de descomposición, evaporación, oxidación y pureza de diversos materiales.

El análisis termogravimétrico consiste en aumentar gradualmente la temperatura de una muestra en un horno mientras se mide el peso en una balanza analítica y después se calienta la muestra en un entorno determinado (aire, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, He, Ar, etc.) a una velocidad controlada, y luego se calcula la pérdida de peso resultante que se produce debido a los compuestos semivolátiles, la degradación de los polímeros (Montoya y Giraldo, 2010).

Figura 2.

*Termograma del Analizador termogravimétrico (TGA)*



*Nota:* Termograma del analizador termogravimétrico (Prieto, 2008).

### 2.1.5. Técnica para determinar las Propiedades estructurales

El almidón amorfo, cuando se somete a determinadas condiciones de temperatura, humedad, procesamiento y almacenamiento, experimenta una serie de cambios estructurales tras el enfriamiento. Estos cambios, conocidos en conjunto como retrogradación, involucran procesos como la recristalización de la amilosa y amilopectina en distintas estructuras cristalinas, la separación de fases y la reorientación de los polímeros del almidón. La retrogradación se debe principalmente al establecimiento de interacciones moleculares, mayoritariamente puentes de hidrógeno, entre las cadenas de almidón después del enfriamiento, según explican (Thire et al., 2003).

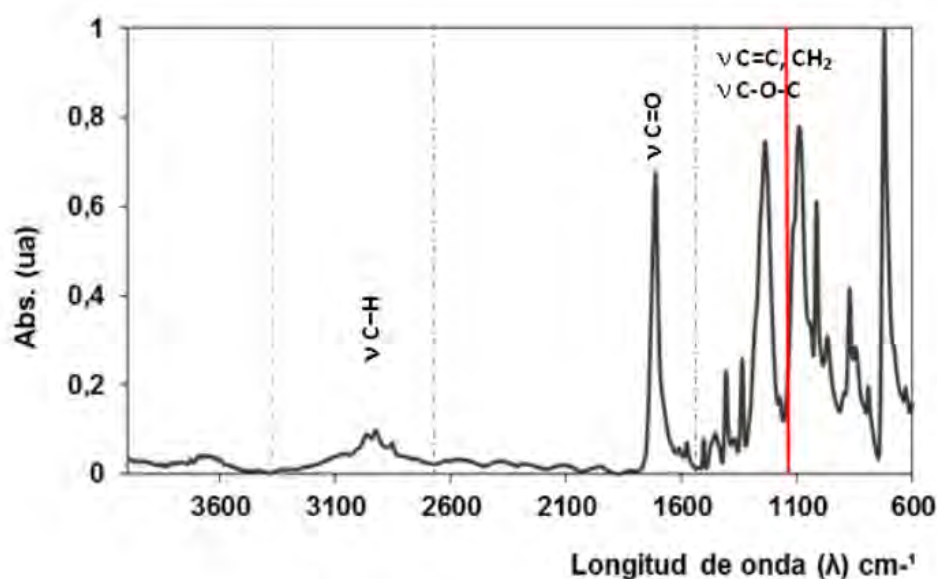


### a. Técnica IR-ATR

El análisis infrarrojo puede comprender los grupos funcionales de los compuestos orgánicos. Con esta técnica, los espectros se pueden interpretar y comparar con bases de datos especializadas para determinar la presencia o ausencia de ciertos grupos funcionales en la estructura molecular (Pretsch et al., 2000).

Figura 3.

*Espectro FT-IR-ATR*



*Nota:* Espectroscopia infrarroja (Navatta, 2013).

### b. Técnica de SEM

La microscopía electrónica de barrido (SEM), también conocida como análisis SEM o técnica SEM, se ha utilizado en todo el mundo en muchas disciplinas. Puede considerarse un método eficaz en el análisis de materiales orgánicos e inorgánicos a escala nanométrica o micrométrica ( $\mu\text{m}$ ). El microscopio electrónico de barrido trabaja con aumentos entre 300.000 hasta 1000.000 x (en algunos modelos modernos) para obtener imágenes muy precisas de una amplia gama de materiales (Mohammed y Abdullah, 2018).

#### 2.1.6. Extruidos

La cocción por extrusión es cada vez más popular en la industria mundial de transformación agroalimentaria, sobre todo en los sectores de la alimentación humana y animal. La cocción por extrusión es un proceso de alta temperatura y corta duración en el que se utilizan

materias primas húmedas, expansivas, amiláceas y protenosas. Los materiales alimentarios se plastifican y cuecen en un minuto mediante una combinación de humedad, presión, temperatura y cizallamiento mecánico, lo que da lugar a transformaciones moleculares y reacciones químicas. Se reduce el recuento microbiano y se inactivan las enzimas. Se trata de un proceso térmico o mecánico de múltiples pasos y funciones, que ha permitido un gran número de aplicaciones alimentarias. Durante la extrusión pueden producirse cambios beneficiosos en la biodisponibilidad y en el contenido de nutrientes. Los mecanismos subyacentes a estos cambios, así como la influencia de las condiciones del proceso y la composición de la mezcla de alimentos. Se concede especial importancia a las modificaciones fisicoquímicas y químicas de las proteínas, el almidón y la fibra alimentaria. Los productos extruidos pueden clasificarse para una aplicación concreta en función de sus propiedades funcionales, como la absorción de agua y el índice de solubilidad en agua, el índice de expansión, la densidad aparente y la viscosidad de la masa (Navale et al., 2015).

#### **2.1.7. Principio del funcionamiento de la extrusión**

El principio de funcionamiento de la extrusión consiste en introducir las materias primas en el cilindro de la extrusora y, a continuación, el tornillo o los tornillos transportan el alimento a lo largo del mismo. A medida que se desciende por el cilindro, las hélices más pequeñas restringen el volumen y aumentan la resistencia al movimiento del alimento. Como resultado, el alimento llena el cilindro y los espacios entre las hélices del tornillo y se comprime. A medida que avanza por el cilindro, el tornillo amasa el material hasta convertirlo en una masa semisólida plastificada. Si el alimento se calienta por encima de 100 °C, el proceso se conoce como cocción por extrusión (o extrusión en caliente). Aquí, el calor por fricción y cualquier calentamiento adicional que se utilice hacen que la temperatura aumente rápidamente. A continuación, el alimento pasa a la sección del barril, donde la presión y el cizallamiento aumentan aún más debido al menor vuelo. Por último, se hace pasar a través de una o más aberturas restringidas (matrices) en el extremo de descarga del barril a medida que el alimento emerge bajo presión de la matriz, se expande hasta alcanzar la forma final y se enfría rápidamente a medida que la humedad se desprende en forma de vapor. Se puede dar una gran variedad de formas, como tubos, barras, esferas, tiras, rosquillas, remolinos o conchas. Los productos típicos incluyen una amplia variedad de aperitivos extruidos de baja densidad y cereales inflados listos para el consumo. La extrusión en frío, en la que la temperatura del alimento se mantiene a temperatura ambiente, se utiliza para mezclar y dar forma a alimentos como pasta y productos cárnicos. La extrusión a baja presión, a temperaturas inferiores a

100°C, se utiliza para producir, por ejemplo, pastas de pescado, surimi, regaliz y alimentos para mascotas (Bordoloi y Ganguly, 2014).

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Extruido**

La extrusión es una tecnología novedosa para producir snacks saludables listos para el consumo, que tienen baja humedad y actividad de agua y tienen una vida útil más larga (Navale et al., 2015). Funciona según el principio de cocción a temperatura alta y durante poco tiempo (Sharmila y Athmaselvi, 2017).

### **2.2.2. Propiedades tecnofuncionales**

Las propiedades tecnofuncionales son propias de los granos que están relacionadas directamente por el contenido proteico y la interacción proteína - agua (Sánchez, 2017).

### **2.2.3. Propiedades térmicas**

Las propiedades térmicas comprenden un conjunto de técnicas que analizan el cambio de comportamiento de una muestra, cuando se la somete a un proceso programado de cambio de temperatura en atmósferas controladas: calentamiento, enfriamiento o isoterma: Dichos cambios comprenden: la fusión, la cristalización, la ebullición, la sublimación, las transiciones vítreas, las transformaciones polimórficas, entalpías de fusión, la capacidad calorífica, el % de Pureza, el % de Cristalinidad, la compatibilidad en formulaciones ( principio activo y excipientes), etc (Vásconez, 2017).

### **2.2.4. Propiedades estructurales**

Las propiedades estructurales son causadas bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad en donde sufren cambios estructurales después del enfriamiento, calentamiento, procesamiento y almacenamiento (Thire et al., 2003)

## **2.3. Antecedentes de investigación**

Muñoz et al. (2022), evaluó los efectos de la inclusión de harina de quinua hiperproteica obtenida mediante molienda abrasiva en cuatro formulaciones cocinadas con un contenido de humedad del 27% y procesadas en una extrusora un husillo a nivel de laboratorio para determinar sus propiedades físicas, texturales y de pegado. Los resultados indicaron que la harina de quinua hiperproteica adicional en la mezcla de cereales redujo un 47% el índice de

expansión (IE), mientras que la densidad del extruido (DE) y la dureza aumentaron un 54 y un 130%, respectivamente. La adición de harina de quinua hiperproteica (25-37%) no afectó al ISA, pero se observó un aumento del ISA. El proceso de extrusión de harina de quinua generó cambios en el color principalmente en el parámetro L, el cual disminuyó en los snacks extruidos con inclusión de harina de quinua (51.49), comparado con el snack sin inclusión (62.68). Cambiando la integridad de los gránulos de almidón y proteínas asociadas, causando una disminución en los picos de viscosidad durante el calentamiento y posterior enfriamiento. Las muestras extruidas revelaron estabilidad en el proceso de retrogradación. Los snacks extrusionados a partir de quinoa podrían ser un enfoque alternativo para producir ingredientes para piensos con alto contenido proteico.

Gao et al. (2022), menciona que la extrusión tiene un efecto tanto en las propiedades funcionales como estructurales de la proteína de arroz. Durante la extrusión, los parámetros de extrusión (velocidad del tornillo, temperatura de extrusión y contenido de humedad) afectaron significativamente las propiedades funcionales de las proteínas como capacidad de retención de agua (CRA), Capacidad espumante (CE), Capacidad de estabilidad (CES), Estabilidad de emulsificación (EE) y Capacidad de emulsificación (CEm) ( $p$ -valué  $<0.05$ ). Después de la extrusión, la CRA de la proteína de arroz texturizada (PAT) fue más alta a 200 rpm, 130 °C y 25 %, lo que podría aumentar en un 37.74 % en comparación con la proteína no extruida; CE fue 80.72 % a 250 rpm, 130 °C y 30 %, una mejora de 7.62 %; El EI fue más alto con un 34.50 % a 200 rpm, 130 °C y un 35 %, una mejora del 152.82 %. La mejora de las propiedades funcionales de la proteína de arroz puede facilitar más aplicaciones de la proteína de arroz en los alimentos. Por ejemplo, después de actualizar CRA, la proteína de arroz se puede usar en productos como jugos y bebidas deportivas para aumentar el contenido nutricional de los productos; después de actualizar el CE y el CES, la proteína de arroz se puede usar como aditivo alimentario: agente espumante; y después de actualizar el EE, la proteína de arroz se puede usar en helados, postres y comidas preparadas. Al mejorar las propiedades funcionales de la proteína de arroz a través de la extrusión.

Zambrano et al. (2022), menciona que la extrusión puede dar lugar a un producto expandido o un gránulo ligeramente expandido, conocido como snack de tercera generación (3G). En este caso, la expansión se produce posteriormente, en un dispositivo térmico independiente (p. ej., un horno), fuera del gránulo extruido. Durante ambos procesos, ocurren varios cambios estructurales que están relacionados con las condiciones de procesamiento,

incluida la temperatura de cocción, la velocidad del tornillo, la formulación y el contenido de humedad inicial. Sin embargo, aún no se ha identificado una relación clara entre las variables de procesamiento y la estructura de los gránulos y productos extruidos. En consecuencia, este trabajo tuvo como objetivo estudiar el efecto de la temperatura de extrusión (110, 135 y 150 °C) y el contenido de humedad (27, 29 y 31%) en gránulos de harina de arroz y su expansión por microondas, a través de un enfoque microestructural. Los resultados mostraron que el contenido de humedad más bajo (27 %) y la temperatura de extrusión más alta (150 °C) dieron lugar al mayor volumen de gránulos y al mayor espesor de pared, lo que a su vez condujo a la mayor expansión después del calentamiento por microondas (50 s, 800 W). Curiosamente, no se observaron diferencias significativas al analizar la relación entre el volumen de los productos extruidos y el volumen del gránulo (~2.4) al usar las diferentes condiciones de procesamiento.

Alajil et al. (2020), realizó un estudio donde incorporo harina de quinua al 60% en snacks extruidos elaborados a base de cereales como arroz, maíz y avena. Los extruidos fueron investigados por su composición, propiedades fisicoquímicas y sensoriales. Al variar la temperatura del cilindro de 100 a 170 °C, amplia variación en las relaciones de expansión 3.28 - 3.50, densidad unitaria (0.120 – 0.200 g/cm<sup>3</sup>), IAA (5.77 – 6.40 g/g), ISA (12.59 – 20.93 %) y los parámetros de color de Hunter se registraron para los extruidos. El snack extruido optimizado tenía proteína (15.99%), grasa (4.24%), ceniza (1.94%) y carbohidratos (77.83%). El estudio de almacenamiento mostró que los extruidos eran aceptables hasta 80 días de almacenamiento en condiciones ambientales.

Jimenez et al. (2019), determino los cambios nutricionales en las harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus*), inducidos por la germinación bajo condiciones controladas. Se determinó la composición proximal, digestibilidad proteica, almidón y fibra por métodos AOAC. En las harinas se determinaron los azúcares totales y reductores (método del ácido dinitrosalicílico) y las fracciones proteicas (SDS-PAGE). En el almidón se determinó el contenido de amilosa (método espectrofotométrico). Se estudió el comportamiento térmico de la harina mediante DSC. El contenido proteico y la digestibilidad, así como los azúcares reductores y totales, aumentaron con la germinación. La degradación proteica se observó en fracciones con pesos moleculares superiores a 24 kDa en quinua, mientras que en amaranto la degradación fue en todo el rango de pesos moleculares 14-66 kDa. El contenido aparente de amilosa aumentó, posiblemente debido a la formación de dextrinas y cadenas lineales de glucanos a partir de la amilopectina. Las temperaturas de gelatinización

fueron similares entre las muestras antes y después de la germinación. Las entalpías de gelatinización de las harinas fueron significativamente inferiores en los granos germinados que en los no germinados; también se determinó una mayor tendencia a la retrogradación. La germinación mejoró las aportaciones nutricionales de las harinas de quinua y amaranto, pero por otro lado el contenido de almidón disminuyó y el gel se hizo más inestable, características importantes si se van a utilizar como ingredientes en formulaciones alimentarias.

Ye et al. (2018), menciona que la extrusión de alimentos ha evolucionado en las últimas décadas y ahora es un área de investigación. El almidón es un ingrediente principal de las materias primas que se utilizan ampliamente en la extrusión de alimentos. La extrusión es un proceso termomecánico que puede romper los enlaces del almidón, lo que lleva a la gelatinización, fusión y degradación del almidón. Se reviso los efectos de la extrusión sobre la estructura y las propiedades fisicoquímicas del almidón. Además, se describen algunas aplicaciones de los almidones extruidos. Esta revisión es importante ya que proporciona una descripción general de los efectos de la extrusión en las propiedades del almidón e indica el potencial de las aplicaciones de extrusión en la industria alimentaria.

Guevara et al. (2015), investigo que la adición de fibra soluble produjo la masa más blanda, por lo que se obtuvo un comportamiento menos viscoelástico y una mejor distribución de los gránulos de almidón en la masa con fibra soluble. Estos resultados concordaron con el análisis del perfil de textura de la miga, en el que la miga de los panecillos con fibra soluble mostró la menor dureza y masticabilidad. Además, los panecillos formulados con fibra soluble mostraron la menor tasa de endurecimiento, tuvieron una excelente aceptabilidad panaria y mostraron un aumento del volumen específico. Por otro lado, la adición de fibra total y fibra insoluble desarrolló una masa más dura que el experimento de control; estos tratamientos mostraron una mayor dureza y masticabilidad de la miga. Estas mejoras en los panecillos pueden considerarse adicionales a los beneficios nutricionales de la fibra soluble de nopal que se han demostrado. Tiene actividad prebiótica, por lo que se deben realizar más estudios para determinar la posible biofuncionalidad de estos panecillos.

Robin et al. (2012), menciona que la incorporación de fibra dietética en productos extruidos a menudo conduce a volúmenes de expansión reducidos y texturas que son menos preferidas por los consumidores. Sin embargo, la fibra soluble proporciona mayores volúmenes de expansión mientras que afectan menos la densidad aparente de los productos extruidos que

la fibra insoluble. La diferencia en el comportamiento de expansión y las propiedades texturales relacionadas entre la fibra soluble e insoluble puede explicarse por sus interacciones con el almidón, las diferencias en el comportamiento de sorción de agua y plastificación, pero también por las transformaciones fisicoquímicas que experimentan durante la extrusión. Los tratamientos de fibra insoluble, previos a la extrusión, pueden mejorar significativamente sus propiedades de expansión y textura.

Gutiérrez y Javier (2011), caracterizó la harina de maíz amiláceo (*Zea mays amylacea*) por sus propiedades físico químicas como densidad aparente de 0.60 g/cm<sup>3</sup>, pH: 6.53, Acidez total: 0.14% expresado como ácido sulfúrico, granulometría: 97.50%, pasando por un tamiz de 180 um y un análisis químico proximal: humedad: 11.31, fibra: 0.36, grasa: 5.07, ceniza: 1.25, proteína: 10.00, carbohidratos: 72.01. Así como también analizó la amilosa el cual tiene un 13.7% considerando ligeramente bajo.

Pérez et al. (2008), estudio los efectos de la dureza del endospermo y las condiciones de extrusión sobre las características del producto expandido y la viscosidad de dispersión de la harina de una mezcla extruida de maíz/soja (88/12). Las muestras se obtuvieron con una extrusora de un solo tornillo Brabender. Se utilizó un diseño experimental factorial para analizar los efectos combinados sobre la expansión radial de la dureza del endospermo de dos maíces, la temperatura de extrusión y el contenido de humedad de la sémola. Se utilizó la metodología de respuesta de la superficie para estudiar los efectos de las condiciones de extrusión en las propiedades del extruido, tomando la humedad de los granos (14–18 %) y la temperatura de extrusión (155–185 °C) como factores. Se determinó el consumo de energía mecánica específica, la expansión radial, el volumen específico y la textura del producto en cada muestra de extruido, y se midió la viscosidad de la dispersión de la harina de extruido a diferentes concentraciones de sólidos. Para la mezcla 88/12 (maíz/soja), un endospermo de maíz más blando da un producto más expandido que el más duro. Las puntuaciones de textura se relacionaron directamente con el volumen específico. Las mejores condiciones de extrusión para obtener productos extruidos y harina precocida a partir de una mezcla 88/12 de maíz/soja fueron 170 °C y 14% de humedad.

### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis general

La incorporación de pulpa de nopal (*Opuntia ficus indica*) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) germinada en la mezcla alimenticia extruida tiene un efecto significativo en las propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales de dicha mezcla.

#### 3.2. Hipótesis específicas

- ✓ La incorporación de pulpa de nopal (*Opuntia ficus indica*) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) germinada en la mezcla alimenticia extruida tiene un efecto significativo en las propiedades tecnofuncionales de dicha mezcla.
- ✓ La incorporación de pulpa de nopal (*Opuntia ficus indica*) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) germinada en la mezcla alimenticia extruida tiene un efecto significativo en las propiedades térmicas de dicha mezcla.
- ✓ La incorporación de pulpa de nopal (*Opuntia ficus indica*) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) germinada en la mezcla alimenticia extruida tiene un efecto significativo en las propiedades estructurales de dicha mezcla.

#### 3.3. Variable e indicador

##### 3.3.1. Variable independiente

Tabla 2.

*Variable Independiente*

VARIABLE	Codificación
Concentración de mucilago de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> )	MN
Concentración de harina de quinua germinada ( <i>Chenopodium quinoaWilld</i> )	HQG

##### 3.3.2. Variables dependientes

Tabla 3.

*Variable Dependiente*

VARIABLE
Propiedades tecnofuncionales
Propiedades térmicas



### 3.3.3. Operacionalización de variables

En lae Tabla 4 muestra la operacionalización de las variables identificadas.

Tabla 4.

#### *Operacionalización de variables*

Variables	Indicador	Unidad	Definición de operaciones		
			Método	Técnica	Instrumento
<b>DE ENTRADA</b>					
Mucilago de nopal	% adición	g	Formulación	Medida	Balanza analítica
Harina de quinua germinada	% adición	g	Formulación	Medida	Balanza analítica
<b>DE SALIDA O DEPENDIENTES</b>					
Propiedades tecno funcionales	IE	mm/mm	Métrico	Metría	Vernier
	IAA	g/g	Gravimétrico	Gravimetría	Balanza analítica
	ISA	g/g	Gravimétrico	Gravimetría	Balanza analítica
	Aw		Higrométrico	Higrometría	AguaLab
	Color	L*a*b*	Colorimétrico	Colorimetría	Colorímetro
Propiedades termicas	Temperatura de gelatinización y fusión.	°C	Térmico	Calorimetría diferencial de barrido	Calorímetro
	Estabilidad térmica	%	Térmico/ Gravimétrico	Termogravimétrico	Calorímetro
Propiedades estructurales	Caracterización superficial	µm	Microfotografías	Microscopia	Microscopio electrónico de barrido
	Grupos funcionales	Transmitancia	Espectroscopio	Espectroscopia de infrarrojo	Espectrofotómetro FTIR

### 3.3.3.1. Diseño de experimentos

Se desarrolló un diseño de mezclas ajustado y personalizado para la formulación de extruidos a base de diferentes tipos de harinas. Los experimentos preliminares permitieron determinar proporciones factibles de los ingredientes y sus posibles rangos de variación. En base a estos resultados, se seleccionaron cinco tratamientos con la siguiente composición: harina de maíz amarillo duro, harina de arroz blanco, harina de quinua germinada, mucílago de nopal y agua como factores variables (Tabla 5). Se variaron sistemáticamente las proporciones de los ingredientes principales para evaluar su efecto tanto individual como en conjunto, sobre las propiedades tecnofuncionales, estructurales y térmicas. El diseño desarrollado, si bien no se ajusta a un diseño estandarizado de mezclas, permite enfocar los experimentos en las zonas de mayor interés, proporcionando flexibilidad en base a conocimientos obtenidos en ensayos preliminares.

Tabla 5.

*Formulación para la elaboración de extruidos*

Insumos	T0 (%)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)
Harina de Maíz amarillo duro	43.750	36.000	33.000	30.000	28.250
Harina de Arroz blanco	37.000	30.500	29.250	26.500	24.000
Harina de Quinua germinada	0.000	10.000	10.000	20.000	20.000
Mucilago de nopal	0.000	5.000	10.000	5.000	10.000
Agua	1.500	0.750	0.000	0.750	0.000
Otros Ingredientes	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

## IV. METODOLOGÍA

### 4.1. Ámbito de estudio

La investigación se realizó en la empresa Inqope S.A.C. ubicado en Sicuani - Cusco, así como también se desarrolló los análisis en las instalaciones de los laboratorios de la UNMSM, UNSAAC y UNAJMA.

### 4.2. Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación es aplicado y el nivel de investigación es explicativo o correlacional.

### **4.3. Unidad de análisis**

Fueron la mezcla de harinas extruidas fortificada con mucilago de nopal y harina de quinua germinada.

### **4.4. Población de estudio**

La población de estudio fue la mezcla de harinas extruidas y fortificadas con mucilago de nopal y harina de quinua germinada, los cuales se pusieron a prueba para determinar las propiedades tecno funcionales, térmicas y estructurales.

### **4.5. Acondicionamiento de la materia prima**

Para la preparación de mezcla de harinas extruidas, se realizó la elaboración de harina de quinua germinada y la extracción del mucilago del nopal.

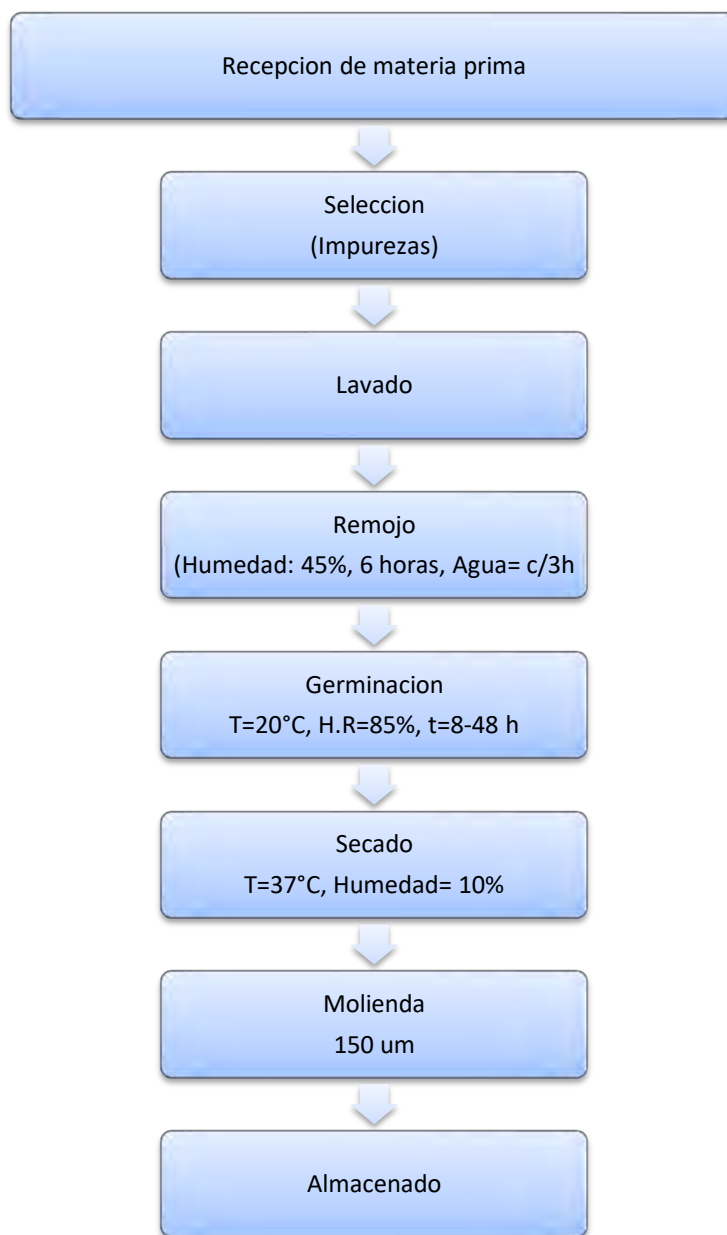
#### **4.5.1. Obtención de la harina de quinua germinada**

Para la obtención de harina de quinua germinada, se utilizó la metodología descrita por Bravo et al. (2013) tomando en cuenta algunas modificaciones basadas en Carciochi et al. (2016), Rojas et al. (2010) y Villacrés et al. (2011). La Figura 1, muestra el diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de quinua germinada.

La harina de quinua germinada se obtuvo a partir de granos de quinua variedad blanca junin. Inicialmente, los granos pasaron por una selección donde se eliminaron impurezas. Luego, se realizó un lavado manual intenso con agua para remover la mayor cantidad de saponina. Posteriormente, las semillas se esterilizaron mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 1% durante 5 minutos. A continuación, los granos se hidrataron en bandejas con agua hasta alcanzar 45% de humedad, tras 6 horas de remojo, cambiando el agua a las 3 horas según pruebas previas. El germinado se llevó a cabo en cámara climática a 20°C y 85% de humedad relativa. Los granos germinados se secaron en bandejas a 37°C hasta 10% de humedad. Finalmente, la quinua germinada se molió en un molino rotor a 3000 rpm con malla de 0,20 mm para obtener harina.

Figura 4.

*Diagrama de flujo para la obtención de la harina de quinua germinada.*



#### 4.5.2. Obtención del Mucilago de nopal

Para la obtención del mucilago de nopal se utilizó la metodología de Guadarrama (2018), como se muestra en Figura 2.

Se procedió a realizar la selección de nopales frescos que estén en un promedio de 20 a 40 cm de longitud y libres de daños físicos o microbiológicos, luego se realizó la desinfección, por lo que se lavó con agua potable y seguido se procedió a desinfectar en solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm por 10 minutos. Posteriormente se pelaron y retiraron las

espinas de los nopales para cortarlos en trozos. Los trozos de nopal fueron licuados sin agua en una licuadora industrial y luego agregar a la mezcla de harinas.

Figura 5.

*Diagrama de flujo para la obtención del mucilago de nopal*



#### 4.5.3. Obtención del Extruido

Para la obtención del extruido se utilizó los procedimientos estandarizados por la Empresa Inqope S.A.C., como se muestra en la Figura 3.

Se procedió a realizar el pesado de las harinas e insumos para luego realizar la mezcla de harinas en base a 25 kg como capacidad mínima, para posteriormente cargar las harinas a la tolva, esta tolva tiene un tornillo transportador el cual lleva la harina a la parte superior donde

se encuentra el extrusor, se procesó en un extrusor de doble tornillo. Este tramo posee un pequeño transportador a tornillo, el cual permite la correcta introducción de la harina acondicionada dentro del extrusor. La harina llena los tornillos del extrusor, de esta manera, los tornillos cumplen la función de amasar, calentar, cocinar y modificar la estructura de la harina. Luego el extruido sale de la matriz el cual tiene un diámetro de boquilla de 3 mm en forma continua y el extruido sale con un diámetro de partícula de 3.44 – 3.49 mm, se encuentra con cuatro cuchillas girando a gran velocidad, lo cual permite el corte del producto con un tamaño y forma determinado. Luego los extruidos se trasladan a la secadora se realiza a través de aire caliente que proviene de un ventilador centrífugo que lo toma del medio ambiente y paralelamente se realiza el azucarado del extruido para posteriormente ser enfriado y luego envasado.

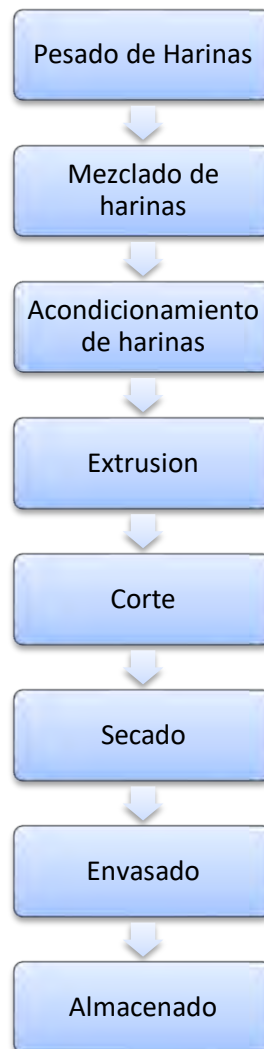
*Tabla 6.*

*Formulación para la elaboración de extruidos*

Insumos	T0 (%)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)
Harina de Maíz amarillo duro	43.750	36.000	33.000	30.000	28.250
Harina de Arroz blanco	37.000	30.500	29.250	26.500	24.000
Harina de Trigo	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000
Harina de Quinoa germinada	0.000	10.000	10.000	20.000	20.000
Harina de Ajonjolí	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Mucilago de nopal	0.000	5.000	10.000	5.000	10.000
Agua	1.500	0.750	0.000	0.750	0.000
Proteína aislada de soya	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Saborizante de vainilla	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Carbonato de calcio	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Figura 6.

*Diagrama de flujo de obtención de extruido  
(Empresa Inqope S.A.C., 2023)*



#### **4.6. Técnicas de recolección de información**

##### **4.6.1. Análisis de propiedades tecnofuncionales**

###### **4.6.1.1. Índice de expansión (IE)**

Se midió el diámetro del extruido y la boquilla del extrusor, y el índice de expansión se determinó mediante la fórmula propuesta por Meng et al. (2010).

$$IE = \frac{D_m}{D_e} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde  $D_m$  es el diámetro de la muestra (mm) y  $D_e$  es el diámetro de la boquilla del extrusor (mm)

#### 4.6.1.2. Índice de Absorción de Agua

Se pesó 2,5 g de harina y se adicionó 30 mL de agua destilada a 30 °C, esta solución se agitó por 30 min en un agitador vórtex y fue centrifugada a 9000 rpm por 15 min, el sobrenadante se pasó a un vaso registrándose el peso del precipitado, y el IAA se determinó mediante la fórmula recomendada por Stojceska et al. (2009). Del peso de la muestra se descontó el peso de solubles del sobrenadante.

$$IAA = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde;  $m_1$  es el peso seco inicial de la muestra (g),  $m_2$  es el peso de la muestra húmeda (g).

#### 4.6.1.3. Índice de solubilidad de agua

Se pesó 2,5 g del extruido y se agregó 30 mL de agua destilada a 30 °C, esta solución fue agitada por 30 min mediante un agitador vórtex y luego se centrifugó a 3000 rpm por 15 min. El sobrenadante se pasó a un crisol y se llevó a una estufa a 90 °C, posteriormente, se determinó el peso de los sólidos solubles, y el ISA se determinó mediante la fórmula recomendada por Stojceska et al. (2009).

$$ISA = \left( \frac{m_2}{m_1} \right) * 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde;  $m_1$  es el peso seco inicial de la muestra (g),  $m_2$  es el peso seco de la muestra después de la evaporación de agua (g).

#### 4.6.1.4. Determinación de la Actividad de agua

La actividad de agua de las mezclas de extruidos fortificados se evaluó con un medidor de actividad del agua HygroPalm23-AW (marca Rotronic, Bassersdorf, Suiza) (Placido y Alemán, 2002)

#### 4.6.1.5. Determinación el Color

Los parámetros del perfil de color de la mezcla de extruidos fortificados se determinaron en la escala de color CIE  $L^*a^*b$  y se midieron con un colorímetro CR-5 (Konica Minolta, Tokio, Japón). Considerando:  $L^*$  luminosidad (0 = negro y 100 = blanco), croma  $a^*$  (+ $a^*$  = rojo, - $a^*$  = verde) y croma  $b^*$  (+ $b^*$  = amarillo y - $b^*$  = azul) (Palomino et al., 2010)

### 4.6.2. Técnica para el Análisis de propiedades térmicas



#### **4.6.2.1. Técnica por Calorimetría diferencial de barrido (DSC)**

Se tomaron 2 mg de muestra de mezcla de extruidos fortificados para analizar la estabilidad térmica de los materiales por DSC (calorímetro diferencial de barrido), en un rango de temperatura entre 0 y 170 °C, en atmósfera de N<sub>2</sub>, con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, utilizando un calorímetro diferencial de barrido DSC 2500 (TA Instrument, New Castle, DE, EE. UU.).

#### **4.6.2.2. Técnica por Análisis termogravimétrico (TGA)**

Se tomaron 10 mg de muestra de mezcla de extruidos fortificados para analizar la estabilidad térmica de los materiales por TGA (análisis termogravimétrico) y DTA (análisis térmico diferencial), en un rango de temperatura entre 20 y 600 °C, en atmósfera de N<sub>2</sub>, con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, utilizando un analizador térmico TGA 550 (TA Instrument, New Castle, DE, EE. UU.).

#### **4.6.3. Técnica para Análisis de propiedades estructurales**

##### **4.6.3.1. Técnica FTIR**

Los grupos funcionales de los tratamientos de la mezcla de extruidos fortificados se analizaron con un espectrofotómetro de transformada de Fourier (FTIR), Nicolet IS50 (ThermoFisher, Waltham, MA, EE. UU.), utilizando el módulo de transmisión en el rango de 400 a 4000 cm<sup>-1</sup>, con una resolución de 8 cm<sup>-1</sup>, escaneos y utilizando tabletas de KBr al 0,1%.

##### **4.6.3.2. Técnica SEM**

La morfología de la mezcla de extruidos fortificados se analizó utilizando un microscopio electrónico de barrido (SEM) Prism E (Thermo Fisher, Massachusetts, MA, EE. UU.) a un voltaje de aceleración de 25-30 kV y un aumento de 400-500x.

#### **4.7. Técnicas de análisis e interpretación de la información**

Se implementó un diseño de mezclas balanceado no convencional con cinco tratamientos, previamente ajustados en base a experimentos preliminares realizados por el investigador. Se evaluaron los efectos de la sustitución de ingredientes a un nivel de significancia del 5%, mediante un análisis de superficie de respuesta. Asimismo, los resultados de las propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales fueron sometidos a un ANDEVA (Análisis de Varianza), incluyendo pruebas de comparación múltiple de Tukey. Para el procesamiento de datos, se utilizaron los paquetes estadísticos Statgraphics Centurion XVII, Statistica 64 y Excel.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 5.1. Análisis fisicoquímico

La Tabla 6 reporta los resultados del análisis fisicoquímico en la mezcla de harinas extruidas, se observa que el contenido de humedad máximo es 9.15% (Tabla 6), este porcentaje es un índice de calidad que indica que el producto será menos susceptible al efecto de los microorganismos. Por lo tanto, tendrá una larga estabilidad (Sobowale et al., 2021). A mayor porcentaje de sustitución parcial de harina de quinua germinada incrementa el contenido de grasa y fibra, esto debido a la formación de complejos entre la amilosa y los lípidos durante el proceso de extrusión, lo que provocó una reducción de la extractabilidad de los lípidos (Jabeen et al., 2021). Alajil et al. (2020) elaboro extruidos a base de cereales con una incorporación del 60 % de harina quinua donde obtuvo un 15.99 % de proteína mientras que en el extruido elaborado se obtuvo un máximo 8.84 % con sustitución parcial de 10 % de harina de quinua germinada y 9.15 % con sustitución parcial de 20% de harina de quinua germinada. Se reporta contenido de grasa bajo esto se da por la temperatura y velocidad de tornillo empleadas en el extrusor lo que provoca la degradación de los lípidos y probablemente los ácidos grasos pueden formar complejos con la amilosa.

Tabla 7.

#### *Análisis fisicoquímico proximal de las mezclas extruidas*

Análisis proximal	Tratamiento					
	HQG	T0	T1	T2	T3	T4
Humedad %	6.57±0.09a	5.38±0.88a	5.97±0.52a	8.84±0.09b	5.65±0.56a	9.15±0.09b
Proteína %	13.41±0.43d	3.07±0.05a	7.85±0.05bc	7.75±0.14b	8.36±0.11c	8.01±0.15bc
Grasa %	6.31±0.08d	0.52±0.04a	0.86±0.02bc	0.75±0.04b	0.99±0.07c	0.86±0.04bc
Ceniza %	2.29±0.03d	1.84±0.08c	1.37±0.05a	1.54±0.04b	1.63±0.03b	1.53±0.04b
Fibra %	2.63±0.05e	1.17±0.08a	1.57±0.03b	1.46±0.04b	1.93±0.02d	1.78±0.03c
Carbohidratos %	71.40±0.62a	89.18±0.84d	83.94±0.56c	81.11±0.16b	83.45±0.49c	80.44±0.24b

### 5.2. Propiedades Tecno funcionales

#### 5.2.1. Índice de expansión

La Tabla 7 muestra los resultados del índice de expansión (IE) de la mezcla de harinas extruidas, el tratamiento sin fortificar y fortificado muestran que no hay diferencia significativa entre los tratamientos ( $p\text{-value} > 0.05$ , Anexo 3). Mientras que el índice de absorción de agua (IAA) presenta diferencia significativa entre el tratamiento fortificado y sin fortificar. Asimismo, el índice de solubilidad de agua presenta resultados similares entre el tratamiento

sin fortificar y fortificado de tratamiento T1 y T3 los cuales tienen 5% de mucilago de nopal. Así como también la actividad de agua ( $A_w$ ) presenta diferencia significativa entre los tratamientos sin fortificar y fortificado.

El mucílago es un componente presente en los nopales, el cual se clasifica como hidrocoloide formado por una cadena larga de azúcares simples, cuya característica principal es la retención de agua y formación de geles (Guardiola de León, 2018), por lo que se obtiene que los tratamientos T2 y T4 tienen un mayor índice de absorción de agua e índice de solubilidad de agua, estos tratamientos tienen una sustitución parcial de 10% de mucilago de nopal a diferencia de los tratamientos T1 y T2 que tienen una sustitución parcial de 5% y el T0 no presenta ninguna sustitución parcial.

Tabla 8.

*Propiedades tecno funcionales de la mezcla extruida*

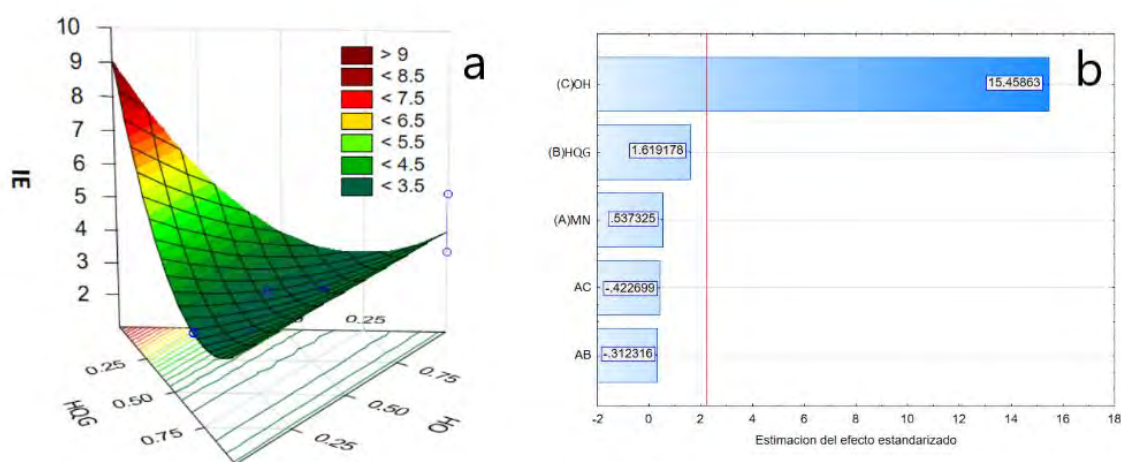
Propiedades tecnofuncionales	HQG	Tratamiento				
		T0	T1	T2	T3	T4
IE (mm/mm)	-	3.49±0.01a	3.48±0.01a	3.46±0.01a	3.48±0.01a	3.46±0.01a
IAA (g/g)	2.04±0.44a	2.70±0.30ab	2.86±0.17b	3.80±0.13c	2.81±0.25b	3.84±0.03c
ISA (%)	24.42±2.62a	48.88±2.60c	47.35±0.86c	33.47±2.33b	46.59±2.74c	31.42±0.67b
$a_w$	0.26±0.0a	0.30±0.01b	0.30±0.0b	0.54±0.0d	0.34±0.0c	0.53±0.0d

Donde; IE es el índice de expansión; IAA es el índice de absorción de agua; ISA es el índice de solubilidad de agua;  $A_w$  es la actividad de agua.

Muñoz et al. (2022), elaboro extruidos con sustitución parcial de 37% de harina de quinua germinada donde obtuvo bajos índices de expansión de 1.22 a 2.31. Las formulaciones preparadas con quinua contienen una mayor proporción de proteína y fibra; esta última rompe las paredes celulares e impide la formación de burbujas de aire y la expansión a su máximo potencial (Jozinovic et al., 2016). Así como también los lípidos influyen en las propiedades de expansión, cuando tienen alto contenido de lípidos favorecen la formación de un complejo almidón – lípido, dando como resultado un snack indeseable con alta densidad y dureza (De Pilli et al., 2012) mientras que en los resultados se reportó bajo contenido de lípidos que oscilaban entre 0.52 a 0.99 % por lo tanto se obtuvo mayores índices de expansión entre 3.46 a 4.07.

Figura 7.

*Superficie de respuesta y diagrama de Pareto del Índice de expansión*



En la Figura 7 (a) se verifica que cuando disminuye la cantidad de harina de quinua germinada (HQG) e incrementa el mucilago de nopal (MN) se obtendrá mayor índice de expansión. Según estudios realizados en extruidos con sustitución parcial de quinua germinada por Richter et al. (2022) obtuvo un índice de expansión de 1.15 a 2.33, también Muñoz et al. (2022) obtuvo un índice de expansión de 1.22 a 2.31, asimismo Galindo (2018) obtuvo un índice de expansión de 0.75 a 1.42, en los resultados se observa un índice de expansión de 3.46 a 3.48 los cuales son mayores a comparación de los diferentes autores esto debido al contenido de mucilago de nopal el cual incrementa el contenido de humedad de la mezcla a extruir. En la Figura 7 (b) se verifica que las otras harinas (OH) tienen efecto sobre el índice de expansión con un valor de 15.45.

### 5.2.2. Índice de absorción de agua

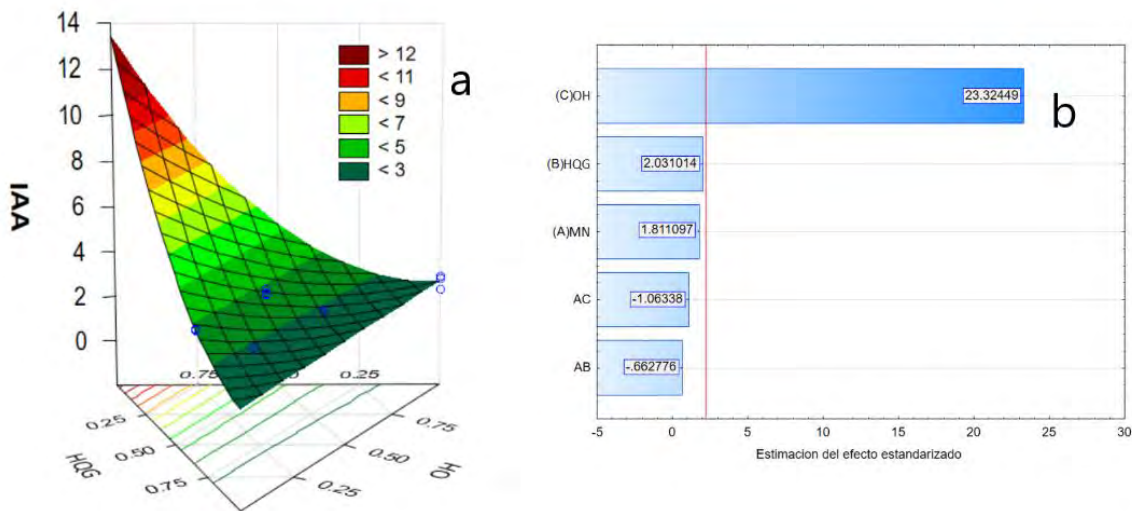
La Tabla 7 muestra los resultados del índice de absorción de agua en la mezcla de harinas extruidas, se observa que los valores de los tratamientos oscilan entre 2.70 a 3.84 g gel /g muestra mientras que el índice de absorción de agua de la harina de quinua germinada (HQG) es 2.04 g gel /g muestra. Además, podemos observar que existe diferencia significativa en los tratamientos ( $p$ -value < 0.05, Anexo 3).

Según estudios realizados en extruidos con sustitución parcial de quinua germinada por Tovar et al. (2017) obtuvo un índice de absorción de agua de 5.41 a 5.87, también Muñoz et al. (2022) obtuvo un índice de absorción de agua de 7.12 a 8.38, asimismo Alajil (2018) obtuvo un índice de absorción de agua de 6.33 a 6.48, en los resultados se reporta un bajo índice de absorción de agua de 2.81 a 3.84. Pero Muñoz et al. (2022) menciona que se puede dar porque

existe dificultad en la capacidad del almidón al combinarse con el agua debido a la interacción entre los grupos hidrofílicos del almidón y la proteína de la quinua. El índice de absorción de agua es la medida del volumen ocupado por el almidón tras hincharse por el exceso de agua, por lo que puede utilizarse como índice de gelatinización del almidón (Tas y Shah, 2021)

Figura 8.

*Superficie de respuesta y diagrama de Pareto del Índice de absorción de agua*



En la Figura 8 (a) se verifica que cuando disminuye la cantidad de harina de quinua germinada (HQG) e incrementa el mucilago de nopal (MN) se obtendrá mayor índice absorción de agua. Asimismo, los tratamientos T1 y T3 tienen valores similares de 2.86 y 2.81 respectivamente ambos tratamientos tienen un 5 % de sustitución parcial de mucilago nopal mientras que T2 y T4 tienen valores similares de 3.80 y 3.84 respectivamente los cuales tienen un 10 % de sustitución parcial por lo que se puede mencionar que el % de mucilago de nopal influye directamente en el índice de absorción de agua. Lam et al., (2018) menciona que el índice de absorción de agua es el potencial de la harina para retener agua en oposición a la gravedad, en el que macromoléculas como los carbohidratos y las proteínas aumentan el índice de absorción de agua de las harinas al ofrecer cadenas laterales hidrofílicas. En la Figura 8 (b) se verifica que las otras harinas (OH) tienen efecto sobre el índice de absorción de agua con un valor de 23.32.

### 5.2.3. Índice de solubilidad del agua

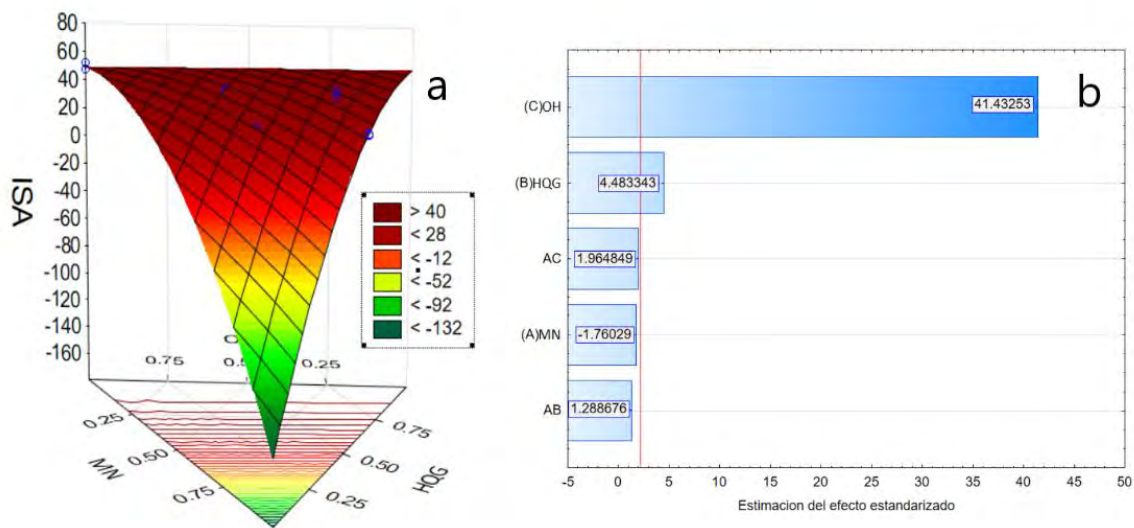
La Tabla 7 muestra los resultados de la solubilidad del agua índice de la mezcla de harinas extruidas, se observa que los tratamientos oscilan entre 31.42 a 48.8 % mientras que el

índice de absorción de agua de la harina de quinua germinada (HQG) es 24.42 %. Además, podemos observar que existe diferencia significativa en los tratamientos ( $p\text{-value} < 0.05$ , Anexo 3).

Según estudios realizados en extruidos con sustitución parcial de quinua germinada por Alajil et al. (2020) obtuvo un índice de solubilidad del agua de 12.59 a 20.93 %, también Muñoz et al. (2022) reportó un índice de solubilidad del agua de 11.78 a 14.54 %, asimismo Tovar (2017) obtuvo un índice de solubilidad del agua de 14.98 a 16.68 %, en los resultados se muestra un índice de solubilidad de 31.42 a 48.8 % el cual es mayor a los reportados por los autores anteriores. El índice de solubilidad del agua muestra el grado de degradación molecular, conversión del almidón y mide los componentes solubles liberados del almidón tras la extrusión (Ye et al., 2018) y puede utilizarse como indicador para medir el grado de cocción de los productos extrusionados (Tas y Shah, 2021)

Figura 9.

*Superficie de respuesta y diagrama de Pareto del índice de solubilidad del agua*



En la Figura 9 (a) se verifica que cuando disminuye la cantidad de mucilago de nopal (MN) e incrementa las otras harinas (OH) se obtendrá mayor índice solubilidad del agua. Asimismo, los tratamientos T1 y T3 tienen valores similares de 47.35 y 46.59 respectivamente ambos tratamientos tienen un 5 % de sustitución parcial de mucilago nopal mientras que T2 y T4 tienen valores similares de 33.47 y 31.42 respectivamente los cuales tienen 10 % de sustitución parcial por lo que se puede mencionar que el % de mucilago de nopal influye en el índice de solubilidad del agua, esto nos indica que hubo un buen grado de cocción en los

extruidos. En la Figura 9 (b) se verifica que las otras harinas (OH) tienen efecto sobre el índice de solubilidad del agua.

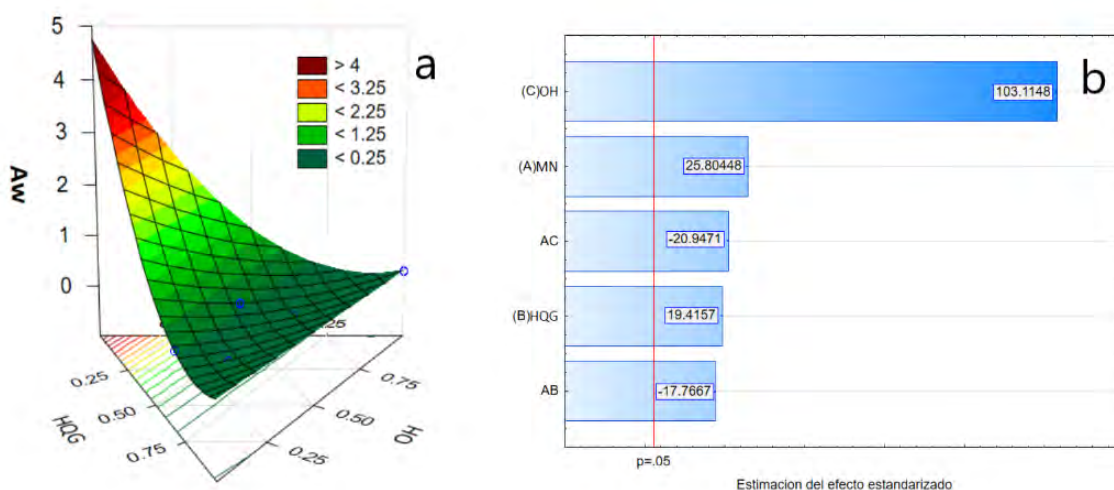
#### 5.2.4. Actividad de agua

La Tabla 7 muestra los resultados de la actividad de agua de la mezcla de harinas extruidas, se muestra que los tratamientos oscilan entre 0.30 a 0.54 mientras que la actividad de agua de la harina de quinua germinada (HQG) es 0.26. Además, podemos observar que existe diferencia significativa en los tratamientos ( $p\text{-value} < 0.05$ , Anexo 3).

Asimismo, los tratamientos T1 y T3 tienen valores similares de 0.30 y 0.34 respectivamente ambos tratamientos tienen un 5 % de sustitución parcial de mucilago nopal mientras que T2 y T4 tiene valores similares de 0.54 y 0.53 respectivamente los cuales tienen 10 % de sustitución parcial por lo que se puede mencionar que el % de mucilago de nopal influye directamente en la actividad de agua. Los valores bajos de actividad de agua iguales a 0.53 presentan fluctuaciones de temperatura de adsorción y tienen efectos mínimos en la estabilidad del producto, por encima de este valor, la estabilidad del producto queda afectada por la variación de la temperatura de adsorción y el valor de actividad de agua (Ascheri *et al.*, 2003).

Figura 10.

*Superficie de respuesta y diagrama de Pareto de la actividad de agua*



En la Figura 10 (a) se verifica que cuando disminuye la harina de quinua germinada (HQG) e incrementa el mucilago de nopal (MN) se obtendrá mayor actividad de agua. En la Figura 10 (b) se verifica que las otras harinas (OH), Harina de quinua germinada (HQG) y Mucilago de nopal (MN) tienen efecto en la actividad de agua, pero destacando a las otras harinas (OH) con un valor de 103.11.

### 5.2.5. Color

Tabla 9.

#### *Evaluación del color*

Trat	L*	a*	b*	C	H	IC
HQG	82.20±0.02e	1.63±0.01a	17.0±0.02a	27.77±0.13a	84.51±0.01f	1.17±0.00a
T0	67.26±0.05d	3.18±0.04b	17.64±0.05b	56.17±0.77b	79.77±0.08d	2.68±0.02b
T1	61.41±0.15b	6.34±0.04e	23.22±0.09c	147.27±1.24e	74.72±0.06b	4.45±0.02d
T2	63.52±0.07c	4.52±0.02c	26.55±0.08e	119.93±0.71c	80.35±0.02e	2.68±0.01b
T3	59.08±0.05a	7.85±0.05f	24.48±0.15d	192.09±2.28f	72.23±0.02a	5.43±0.01e
T4	61.44±0.19b	5.25±0.11d	27.06±0.15f	141.97±3.47d	79.03±0.17c	3.16±0.06c

\*Evaluados a través del Test de Tukey al 5% de significancia, promedio, desviación estándar, Dif. Sig.: diferencia significativa, Letras diferentes indican diferencia significativa.

El color del extruido se muestra en la Tabla 8, donde se puede apreciar que los valores de los tratamientos respecto a L\* oscilan entre 59.08 a 67.26 donde se aprecia que tiene mayor luminosidad por lo que también se observa que hay diferencia significativa entre los tratamientos (p-value < 0.05, Anexo 3), a\* oscila entre 3.18 a 7.85 donde no se aprecia diferencia significativa (p-value > 0.05, Anexo 10) estos valores tienen una tendencia al color rojo, b\* oscilan entre 17.64 a 27.06 donde se aprecia que hay diferencia significativa entre los tratamientos (p-value < 0.05, Anexo 10) estos valores tienden al color amarillento esto debido al proceso de horneado y también mencionar que no se usaron colorantes más bien indicar que las muestras tienen mayor contenido de maíz amarillo por lo que este estaría dando la coloración.

C\* es la medida de pureza, saturación o croma de una color, siendo medidas desde el punto central del espacio de color, los reportes del C\* oscilan entre 56.17 a 192.09 donde se muestra diferencia significativa entre los tratamientos (p-value < 0.05, Anexo 10), y H\* es el ángulo que mide la tonalidad, indicando la orientación relativa del color respecto al origen 0°, los resultados muestran que el H\* oscilan entre 72.23 a 80.35 donde se muestra diferencia significativa entre los tratamientos (p-value < 0.05, Anexo 10).

Así como también en la tabla 8 se muestra la harina de quinua germinada (HQG) con un L\* de 82.20 tiene un alto valor luminosidad que tiende al blanco, a\* 1.63 tiende al color rojo, b\* 17.00 tiende al color amarillo claro, C de 27.77 y H de 84.51. Dussan et al., (2019)



reporto que la harina de quinua tiene un  $L^*$  84.87,  $a^*$ 1.33,  $b^*$ 14.87, C de 14.9 y H de 84.8, se muestra valores similares a los reportados en los resultados.

Olaya (2019) reporto valores similares en sus 3 formulaciones de snacks, donde el snack 1 ( $L^*$  64,  $C^*$ 23,  $H^*$  90.3), snack 2 ( $L^*$  67,  $C^*$ 25.6,  $H^*$  89.1) y snack 3 ( $L^*$  63,  $C^*$ 28,  $H^*$  88). Por otro lado, Pellegrini et al., (2018) reporto un análisis de color de harina de quinua cruda, extruida, horneada y extruida donde mostro 86.65, 64.15, 65.70 para  $L^*$ , -0.16, 4.13, 4.59 para  $a^*$  y 15.06, 18.81, 20.24 para  $b^*$  respectivamente, donde podemos observar valores similares a los obtenidos en el estudio.

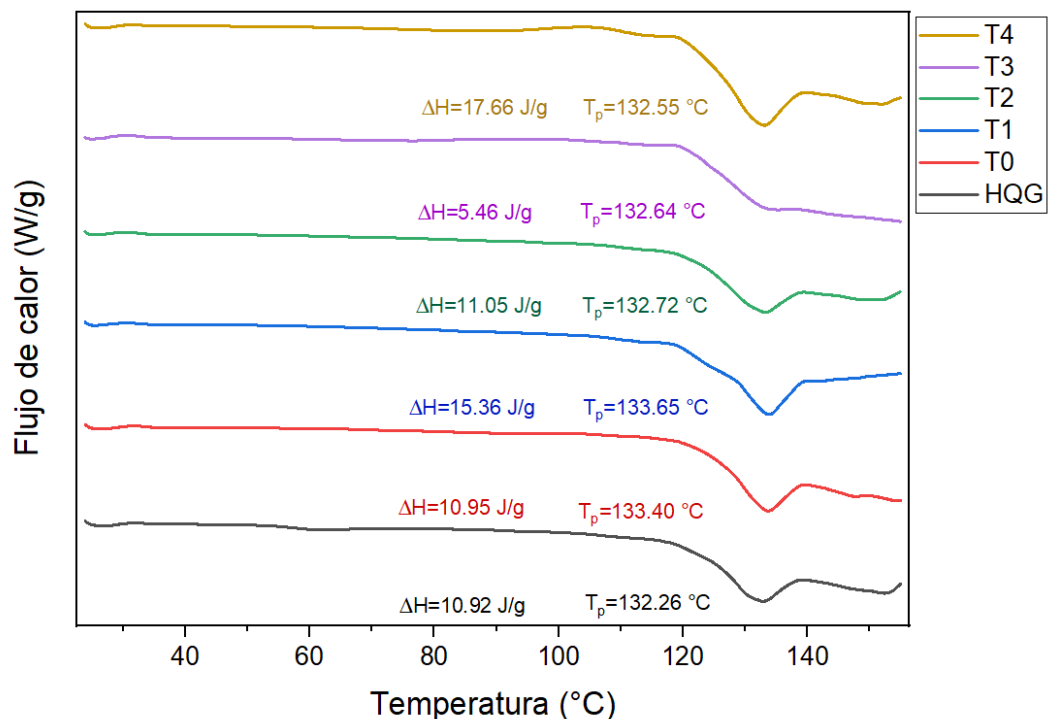
Así como también se determinó el índice de color (IC) el cual posee diferencia significativa entre sus tratamientos. Vignoni et al. (2006) menciona que si el IC es positivo y se encuentra entre (+2 a +20) se relaciona con los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso, esto concuerda con la intensidad de color que muestran los extruidos debido al proceso de extrusión.

### 5.3. Propiedades Térmicas

#### 5.3.1. Calorímetro diferencial de barrido

Figura 11.

*Curva DSC de tratamientos de extruidos y harina de quinua germinada*



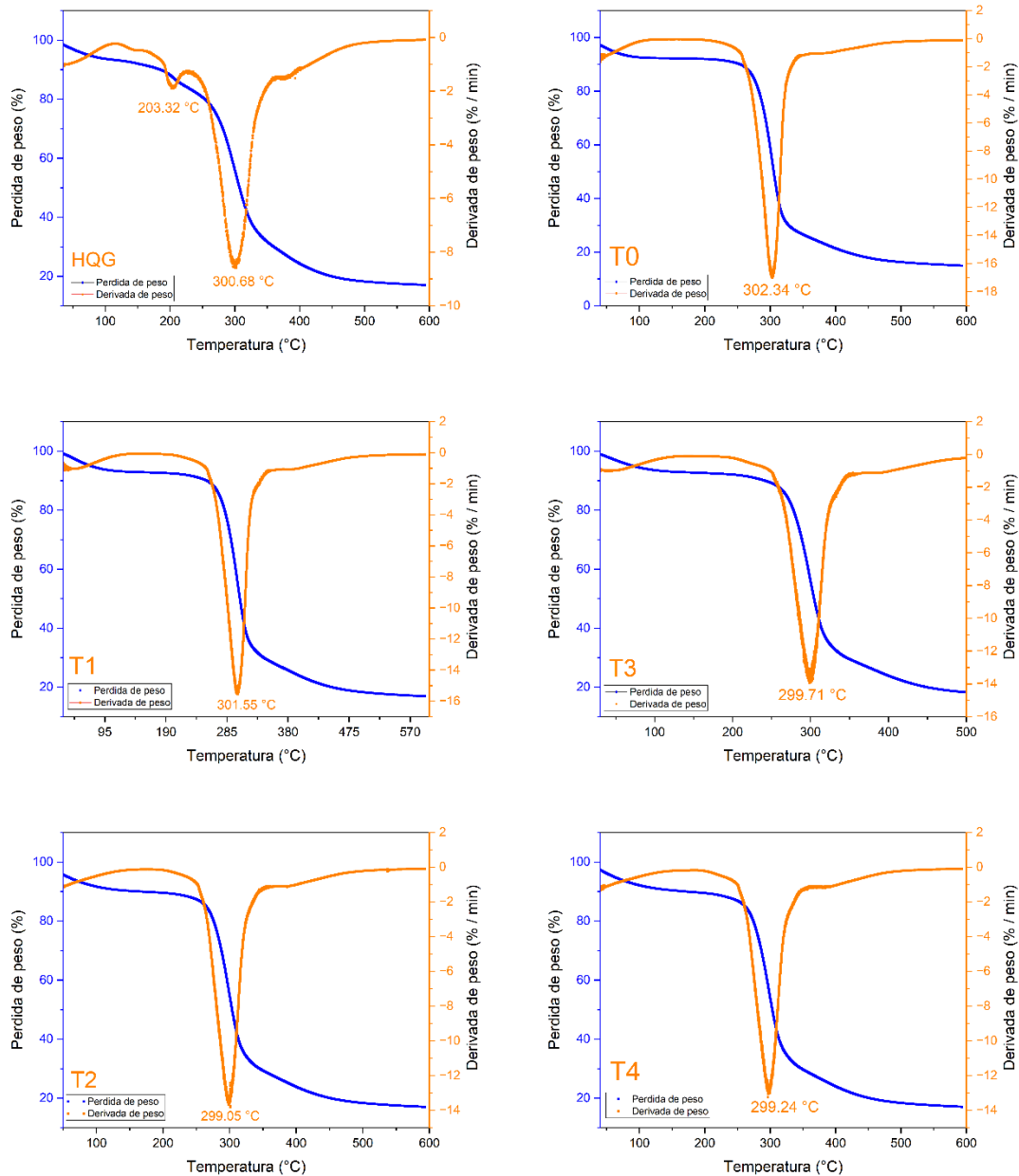
En la Figura 11 se muestra termogramas donde se observa la temperatura de fusión, pero no la temperatura de gelatinización debido a que los extruidos ya sufrieron un tratamiento

térmico donde ocurrió el proceso de gelatinización. Da silva et al. (2021) menciona que el análisis DSC se utiliza para evaluar la estabilidad de las proteínas en función de la temperatura. Las temperaturas necesarias para la desnaturalización proteica. Los tratamientos de las mezclas extruidas y la harina de quinua germinada HQG, T0,T1,T2,T3,T4 presentaron una ligera variación de temperatura de fusión de 132.26 °C, 133.40 °C, 133.65 °C, 132.72 °C, 132.64 °C y 132.55 °C, respectivamente. Sin embargo, la entalpía ( $\Delta H$ ) del tratamiento T1 (15,36 J/g) fue la más alta, mientras que el tratamiento T3 (5.46 J/g) fue la más baja, lo que demuestra que a mayor sustitución parcial de harina de quinua germinada se requiere menor energía para la desnaturalización. Una mayor temperatura en el DSC indica mayor estabilidad esto puede deberse a la ausencia de estructuras terciarias y cuaternarias de enlaces peptídicos y a los aminoácidos más estables de la fracción de menor peso molecular (Trivedi et al., 2015). Por tanto, los tratamientos pueden sufrir pérdidas mínimas de sus propiedades (Xiong, 1997) durante el proceso de producción de snacks extrusionados, en contraste con las otras muestras, que mostraron una temperatura de desnaturalización inferior a la temperatura de extrusión aplicada.

### 5.3.2. Termo gravimetría

Figura 12.

Curva TGA y DTG de muestras de las mezclas extruidas



Se utilizó el análisis termogravimétrico para estudiar la estabilidad térmica de las mezclas extruidas de 25 a 600 °C. Las curvas TGA/DTG obtenidas de los tratamientos tienen una forma muy similar a diferencia de la harina de quinua germinada que se muestra en la Figura 12. El análisis TGA muestra la pérdida de masa de un determinado producto en función de la temperatura. Esta pérdida de masa implica alteraciones físicas y químicas durante el tratamiento térmico. El proceso de descomposición de las mezclas extruidas pudo dividirse en 3 etapas que mostraron mayor diferencia. La primera etapa de descomposición térmica se

encuentra entre 25°C a 100°C donde se produce la pérdida de agua libre y débil. La segunda etapa se da entre 220 °C a 360 °C con una pérdida de masa 50 a 58% donde se da la eliminación del agua fuertemente ligada y la descomposición de CO, CO<sub>2</sub> y NO esto es consecuencia de la degradación de carbohidratos principalmente simples (mono y disacáridos). Según Saavedra et al. (2012) y Hurtt et al. (2004) mencionan que a temperaturas de 151-197 °C y 170-212 °C ocurre una degradación térmica de los azúcares.

Asimismo, se observó una tercera etapa entre 360 °C a 550 °C causada principalmente por la descomposición de compuestos orgánicos como proteínas, lípidos y carbohidratos (Medina et al, 2017; Ligarda et al, 2022). Así como también se da la degradación térmica de la hemicelulosa y la celulosa que se sabe que se produce a unos 220-315 °C (Leal et al., 2015).

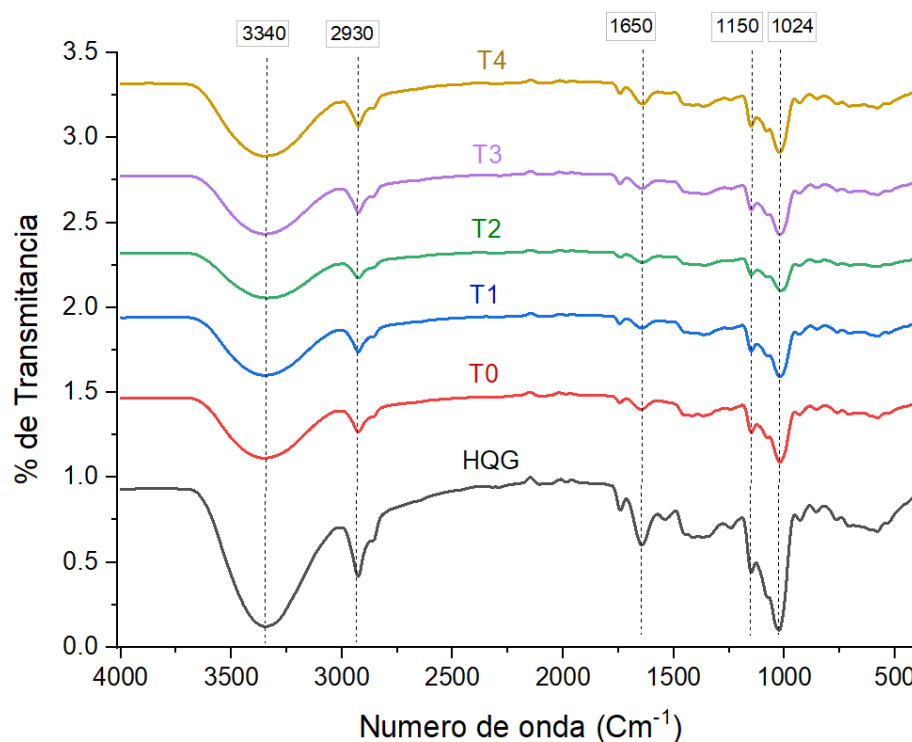
La mayor pérdida de masa se produjo durante la etapa de descomposición, en la que se observó una disminución de masa del 57 al 63 % (240 - 347 °C) para los diferentes tratamientos de los extruidos y del 54 % (240 - 347 °C) en la harina de quinua germinada. El comportamiento termogravimétrico para los tratamientos T0, T1, T2, T3 y T4 fueron similares. El primer evento principal se produjo a 302.34 °C y 63.42% de pérdida de masa para el tratamiento T0, 301.55 °C y 61.12% de pérdida de masa para el tratamiento T1, 299.05 °C y 57.78% de pérdida de masa para el tratamiento T2, 299.71 °C y 59.72% de pérdida de masa para el tratamiento T3, 299.24 °C y 57.01 % de pérdida de masa para el tratamiento T4, mientras que para la harina de quinua germinada 300.68 y 54 .18 % de pérdida de masa.

## 5.4. Propiedades estructurales

### 5.4.1. Grupos funcionales

Figura 13.

*Espectros IR de las mezclas extruidas*



En la Figura 13 se observa los espectros IR similares entre los tratamientos de las mezclas extruidas. Se observan bandas de absorción uniforme para los tratamientos T0, T1, T2, T3 y T4 mientras que para la HQG se observa una banda de absorción relativamente fuerte a  $3340 \text{ cm}^{-1}$ , indicando enlace de hidrogeno esto es causado por la vibración de estiramiento O-H conectada por enlaces de hidrogeno, lo que mostraría la existencia de grupos hidroxilos libres intermoleculares o grupos hidroxilos asociados con capacidad higroscópica en los tratamientos de los extruidos (Ming et al., 2014). Asimismo, se observa el grupo funcional metileno  $-\text{CH}_2-$  a  $2930 \text{ cm}^{-1}$  con tipo de vibración de estiramiento asimétrico para los tratamientos, donde se encuentra la presencia de los carbohidratos y algunos lípidos.

El espectro infrarrojo de la proteína incluye la región amida I es el pico de absorción característico que representa principalmente la vibración de estiramiento de la amida carbonilo  $\text{C}=\text{O}$ , y su número de onda varia de  $1685$  a  $1630 \text{ cm}^{-1}$  (Lin, 2015), donde se encuentran moléculas de proteínas. En la Figura 13 se observa un pico de absorción de  $1650 \text{ cm}^{-1}$  que se encuentra en la región amida I, la intensidad del pico en los tratamientos T0,T1,T2,T3 y T4 es

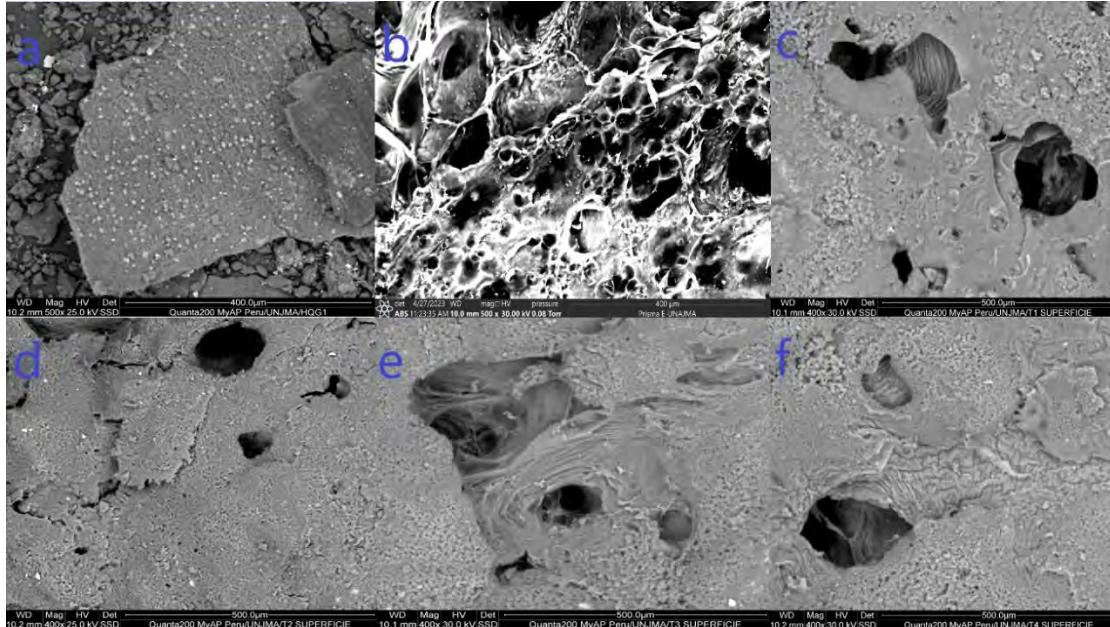
débil lo que indicaría que se provocó una desnaturalización de las proteínas por altas temperatura donde ocurrió la pérdida de todo tipo de interacciones entre los sitios activos de la proteína, por ejemplo, por puente de hidrogeno o disulfuro, interacciones no polares (hidrofóbicas) o polares (hidrofilicas) (Vanga et al., 2016). Los resultados muestran que el entrecruzamiento entre macromoleculas como el almidón, proteína y fibra de las mezclas de harinas después de la modificación por extrusión se ha mejorado en diversos grados, lo que conduce a la formación de una red estructural densa entre moléculas.

Las bandas que aparecen en la región de 1500 a 600  $\text{cm}^{-1}$  son parte de la huella dactilar son producto de varios tipos de vibraciones de enlace por lo que es difícil asignar su origen, pero en la familia de los carbohidratos aparece una banda entre 1100 y 1000  $\text{cm}^{-1}$  (Widjanarko et al., 2011). Así como también Anjos et al., (2015) menciona que en los picos de intervalo entre 1800 y 800  $\text{cm}^{-1}$  se encuentran diferentes tipos de azucares. En estos espectros es posible observar las diferencias en la posición de sus picos más intensos: fructosa (1054  $\text{cm}^{-1}$ ), glucosa (1028  $\text{cm}^{-1}$ ), maltosa (1024  $\text{cm}^{-1}$ ) y sacarosa (991  $\text{cm}^{-1}$ ). En la Figura 13 se observa una banda de 1024  $\text{cm}^{-1}$  con un pico más intenso en la HQG a comparación de los tratamientos T0, T1, T2, T3 y T4, esta diferencia se puede dar porque la maltosa en la HQG no sufrió una desnaturalización. A si como también se observa una banda de 1150  $\text{cm}^{-1}$  por lo que según Flores et al. (2014) menciona que en el intervalo de 1240-990  $\text{cm}^{-1}$  son características del estiramiento C-O del grupo éster en la estructura C-O-C y en C-OH del anillo glicosídico de los gránulos de almidón presentes en las diferentes harinas, identificando las vibraciones típicas de los hidratos de carbono.

## 5.4.2. Caracterización superficial

Figura 14.

*SEM imágenes de los extruidos por 500x magnificación*



Donde; a es HQG; b es T0; c es T1; d es T2; e es T3; f es T4.

Las microfotografías que se observan en la figura 14, muestran diferentes en relación a cada tratamiento. Así como también se observa la ausencia de gránulos de almidón esto debido al proceso de extruido de la mezcla de harinas, procesos que aseguraron la gelatinización completa (Giraldo et al.,2020).

La adición del 10% de mucilago de nopal (Fig. 14 d y f) hizo que la microestructura fuera más cerrada y compacta. Giraldo et al., (2020) menciona que podría deberse a un aumento en la cohesividad de la microestructura debido a las proteínas y los mucílagos. Asimismo, los tratamientos con 5 % de mucilago nopal (Fig. 14 c y e), se observa una estructura con alveolos más abiertos, esto nos indica que la expansión es superior y por tanto la dureza es menor, probablemente debido a la ruptura de las cadenas de fibra provenientes de la harina (Soto et al., 2016).

Además, el proceso de extrusión degrada la amilopectina, el almidón cambia la forma de cristal, y aumenta la cantidad de amilosa y amilopectina adecuada para formar un gel, lo que hace que la estructura de red de la película sea más densa. También podemos observar que el tratamiento que no tiene ninguna sustitución parcial T0 (Fig. 14 b) muestra una mejor expansión con mayor cantidad de alveolos a comparación de los demás tratamientos.

## VI. CONCLUSIÓN

- ✓ Las propiedades tecnofuncionales de la mezcla alimenticia expandida y fortificada con mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa Willdenow*) muestran que el mucílago de nopal tiene un efecto sobre dichas propiedades. Específicamente, en cuanto al índice de solubilidad en agua, actividad de agua y color. Así, los tratamientos T2 y T4, los cuales tienen una sustitución parcial de 10% de mucílago de nopal, presentan un mayor índice de absorción de agua (3,80 y 3,84 g/g), mientras que los tratamientos T1 y T3 exhiben un mayor índice de solubilidad en agua (47,35% y 46,59%). El tratamiento T3 se define como uno de los mejores debido a que alcanza el mayor porcentaje de proteína, 8,36%, en comparación con los demás tratamientos evaluados.
- ✓ Las propiedades térmicas mostraron termogramas similares en los diferentes tratamientos, con una ligera variación en las temperaturas de desnaturalización entre 133,65°C, 132,72°C, 132,64°C y 132,55°C. Estos valores indican una mayor estabilidad térmica ya que son inferiores a la temperatura utilizada en el proceso de extrusión. El análisis mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) mostró una elevada pérdida de masa durante la etapa de descomposición, observándose una disminución de entre el 57% y 63% de la masa inicial a una temperatura de 240°C a 347°C. Esta significativa pérdida de masa está causada principalmente por la descomposición térmica de compuestos orgánicos como proteínas, lípidos y carbohidratos presentes en los tratamientos evaluados
- ✓ Las propiedades estructurales mostraron los espectros con una composición estructural similar en los tratamientos con diferencia significativa en la intensidad de picos en las diferentes bandas de absorción relativamente fuerte 3340 cm<sup>-1</sup> que indica enlace de hidrogeno esto es causado por la vibración de estiramiento O-H conectada por enlaces de hidrogeno, lo que mostraría la existencia de grupos hidroxilos libres intermoleculares o grupos hidroxilos asociados con capacidad higroscópica, otro pico de absorción 1650 cm<sup>-1</sup> que se encuentra en la región amida I, lo que indicaría que se provocó una desnaturalización de las proteínas por altas temperatura donde ocurrió la pérdida de todo tipo de interacciones entre los sitios activos de la proteína y una banda de 1024 cm<sup>-1</sup> la que representa a la maltosa y también una banda de 1150 cm<sup>-1</sup> lo que mostraría características de estiramiento C-O del grupo éster en la estructura C-O-C y en C-OH del anillo glicosídico de los gránulos de almidón presentes en las



diferentes harinas, identificando las vibraciones típicas de los hidratos de carbono. Respecto a la caracterización superficial se muestran diferentes para cada tratamiento, se encontró estructura con alveolos abiertos y otra estructura más cerrada y compacta.

## **VII. RECOMENDACIÓN**

- ✓ Proponer una mejor formulación con mayor contenido de mucilago de nopal y harina de quinua germinada para la obtención de mejores propiedades tecno funcionales y estructurales.
- ✓ Emplear harinas de otras variedades de quinua para la elaboración de mezcla alimenticia de extruidos.
- ✓ Emplear los tratamientos como réplicas para el uso industrial como una nueva alternativa en la línea de extruidos
- ✓ Emplear los parámetros de extrusión como variable de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, C. N.; Rodríguez, H. R.; Saucedo, P. S. y Jasso, C. D. 2008. Fitoquímicos Sobresalientes del Semidesierto mexicano: de la planta a los químicos naturales y a la biotecnología. Ed. Path Design Saltillo, Coahuila, México. 579 p.

Ajita, T., & Jha, S. K. (2017). Extrusion cooking technology: Principal mechanism and effect on direct expanded snacks – An overview. *International Journal of Food Studies*, 6(1), 113–128. <https://doi.org/10.7455/ijfs/6.1.2017.a10>

Alajil, O., Hymavathi, T. V., Maheswari, K. U., & Rudra, S. G. (2020). Nutritional, physico-chemical and sensory attributes of quinoa based extrudates. *Vegetos*, 33, 390-400.

Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., & Gupta, K. (2015). Extrusion and Extruded Products: Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 445–473. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>

Altan, M., & Maskan, A. (2012). Advances in Food Extrusion Technology. *Malaysian Journal of Microbiology* (Vol. 13). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Anjos, O., Campos, M., Contreras, P., Antunes, P., Application of FTIR-ATR spectroscopy to the quantification of sugar in honey, *Food Chemistry*, 169, 218–223 (2015).

Apaza, V., Caceres, G., y Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú* (No. CIDAB-SB191. Q2-A5c). Ministerio de Agricultura y Riego (Perú) Instituto Nacional de Innovación Agraria Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Ascheri, J. L. R., Ascheri, D. P. R., & Nascimento, G. C. (2003). Características de adsorción de agua por harina de arroz soluble a varias temperaturas. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, (349), 111-119.

Aziz, A., Akram, N. A., & Ashraf, M. (2018). Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123, 192–203.

Badui, D. (2006). *Química de los alimentos*. 4ta ed. Editorial Pearson, mexicana. México. pp. 187 - 237.

Barać, M. B., Pešić, M. B., Stanojević, S. P., Kostić, A. Ž., & Čabrilo, S. B. (2015). Techno-functional properties of pea (*Pisum sativum*) protein isolates: A review. *Acta periodica technologica*, (46), 1-18.

Bordoloi, R., & Ganguly, S. (2014). Extrusion technique in food processing and a review on its various technological parameters. *Indian Journal of Scientific Research and Technology*, 2(1), 1-3.

Bravo, M; Reyna, J; Gómez, P; Huapaya, M. (2013). Estudio químico y nutricional de granos andinos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa*). *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química* 16: 54-60.

Carciochi, R; Galván, L; Vandendriessche, P; Chollet, S. (2016). Effect of germination and fermentation process on the antioxidant compounds of quinoa seeds. *Journal of Plant Foods for Human Nutrition*. p. 3-6. doi: 10.1007/s11130-016-0567-0

Cardona Serrate, F. (2019). *Actividad del agua en alimentos: concepto, medida y aplicaciones*.

Castellanos-Gallo, L.; Galicia-García, T.; Estrada-Moreno, I.; Mendoza-Duarte, M.; Márquez-Meléndez, R.; Portillo-Arroyo, B.; Soto-Figueroa, C.; Leal-Ramos, Y.; Sanchez-Aldana, D. Desarrollo de un Snack Expandido de Almidón de Arroz Enriquecido con Amaranto por Proceso de Extrusión. *Moléculas* 2019, 24, 2430.

Castillo, SF; Estrada, L; Margalef MI; Toffoli, SL. 2013. Obtención de harina de nopal y formulación de alfajores de alto contenido en fibra. *Composición de alimentos*. 31 (142): p21-23.

Da Silva, P. C., Toledo, T., Brião, V., Bertolin, T. E., & Costa, J. A. V. (2021). Development of extruded snacks enriched by bioactive peptides from microalga *Spirulina* sp. LEB 18. *Food Bioscience*, 42, 101031.

De Pilli, T., Derossi, A., Talja, RA, Jouppila, K. y Severini, C. (2011). Estudio de complejos almidón-lípidos en sistema modelo y alimentos reales producidos mediante tecnología de extrusión-cocción. *Ciencia innovadora de los alimentos y tecnologías emergentes*, 12 (4), 610-616.

Dussán-Sarria, S., Hurtado-Hurtado, D. L., & Camacho-Tamayo, J. H. (2019). Granulometría, propiedades funcionales y propiedades de color de las harinas de quinua y chontaduro. *Información tecnológica*, 30(5), 3-10.

Flores, F., Lozano, F. Y., Ramos, A., Salgado, R., Guerrero, V. M., Ramírez, S., Bello, L.A. & Zamudio, P. B. (2014). Caracterización fisicoquímica, reológica y funcional de harina de avena (*Avena sativa* L. cv Bachíniva) cultivada en la región de Cuauhtémoc. Octava edición. Chihuahua. *Tecnociencias*. P 152-162.

Galindo Luján, R. D. P. (2018). Nivel de aceptabilidad sensorial de extruidos de quinua con maíz morado como alternativa de alimentación saludable.

Gao, Y., Sun, Y., Zhang, Y., Sun, Y. y Jin, T. (2022). Modificación por extrusión: efecto de la extrusión sobre las propiedades funcionales y la estructura de la proteína de arroz. *Procesos*, 10 (9), 1871. <https://doi.org/10.3390/pr10091871>

Gilabert, Eduardo J. (2007). Medida de la luz y el color. Editorial: Universidad Politécnica de Valencia.

Giraldo Pineda, C. D. P., Yamul, D. K., & Navarro, A. S. D. R. (2020). Efecto de la harina de lino y de extractos de yerba mate sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de un snack de maíz libre de gluten. In *XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia*

y Tecnología de Alimentos y XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos-CyTAL®-ALACCTA 2019 (Buenos Aires, 20 al 22 de noviembre de 2019).

Gómez-Caravaca, A. M., Iafelice, G., Verardo, V., Marconi, E., & Caboni, M. F. (2014). Influence of pearling process on phenolic and saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*). *Food Chemistry*, 157, 174–178.

Goyoaga, C. (2005). Estudio de factores no nutritivos en vicia faba I: influencia de la germinación sobre su valor nutritivo (Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid, España.

Guadarrama-Lezama, AY, Castaño, J., Velázquez, G., Carrillo-Navas, H., & Alvarez-Ramírez, J. (2018). Efecto de la adición de mucílago de nopal sobre las propiedades físicas, de barrera y mecánicas de películas a base de pectina cítrica. *Revista de ciencia y tecnología de los alimentos*, 55, 3739-3748.

Guardiola de León, A. J. (2018). *Extracción y caracterización de mucilago del nopal (Opuntia ficus indica (L.) Miller) de cinco cultivares, en tres estados de maduración (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León)*.

Guevara-Arauza, J. C., Bárcenas, D. G., Ortega-Rivas, E., Martínez, J. D. P., Hernández, J. R., & de Jesús Ornelas-Paz, J. (2015). Effect of fiber fractions of prickly pear cactus (nopal) on quality and sensory properties of wheat bread rolls. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 2990-2997.

Gutiérrez, P., & Javier, J. (2011). Caracterización fisicoquímica de la Harina de Maíz Criollo (*Zea mays amylacea*) y su aplicación en la elaboración de pan.

Guzmán Loayza, D., & Chávez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(1), 41-45.

Hurtta, M., Pitkänen, I., & Knuutinen, J. (2004). Melting behaviour of D-sucrose, D-glucose and D-fructose. *Carbohydrate research*, 339(13), 2267-2273.

Jabeen, A., Naik, HR, Jan, N., Hussain, SZ, Shafi, F. y Amin, T. (2021). Optimización numérica de los parámetros de proceso de harina de castaña de agua incorporada extruidos a base de maíz: Caracterización de la estabilidad fisicoquímica, nutracéutica y de almacenamiento del producto desarrollado. *Revista de Procesamiento y Conservación de Alimentos*, 45 (7), e15569.

Jimenez, M. D., Lobo, M., & Sammán, N. (2019). 12th IFDC 2017 Special Issue—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, 103290.

Jozinovic, A., Šubarić, D., Ačkar, Đ., Babić, J. y Miličević, B. (2016). Influencia de la adición de harina de espelta en las propiedades de productos extrusionados a base de sémola de maíz. *Revista de ingeniería de alimentos*, 172, 31-37.

Lam, A. C. Y., Can Karaca, A., Tyler, R. T., & Nickerson, M. T. (2018). Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality. *Food Reviews International*, 34(2), 126–147

Leal G.F., Ramos L.A., Barrett D.H., Curvelo A.A.S., Rodella C.B., A thermogravimetric analysis (TGA) method to determine the catalytic conversion of cellulose from carbon-supported hydrogenolysis process, *Thermochim. Acta* 616 (2015) 9-13, <https://doi.org/10.1016/J.TCA.2015.07.017>.

Leguía S. (2018). Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y contenido proteico de tres variedades de quinua germinada (*Chenopodium quinua Willd*) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional José María Arguedas, Perú

Ligarda-Samanez, C. A., Moscoso-Moscoso, E., Choque-Quispe, D., Palomino-Rincón, H., Martínez-Huamán, E. L., Huamán-Carrión, M. L., ... & Muñoz-Melgarejo, M. (2022). Microencapsulation of Erythrocytes Extracted from *Cavia porcellus* Blood in Matrices of Tara Gum and Native Potato Starch. *Foods*, 11(14), 2107.

Lin Weijing. Efectos de la modificación de la glicosilación en las propiedades de la película de proteína de maní y su mecanismo [D] Beijing: Academia China de Ciencias Agrícolas, 2015: 35-36.

Liu, Y., Chen, J., Luo, S., Li, C., Ye, J., Liu, C., Gilbert, R. G. Physicochemical and structural properties of pregelatinized starch prepared by improved extrusion cooking technology. *Carbohydr. Polym.* 2017, 175, 265-272. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.084>

Lucas Olaya Vaño. (2019). Desarrollo y caracterización de productos elaborados con harina de maíz y de chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K). Universidad politécnica de Valencia. Tesis de Maestría.

Makila, L.; Laaksonen, O.; Ramos Diaz, J. M.; Vahvaselka, M.; Myllymaki, O.; Lehtomaki, I.; Kallio, H. 2014. Exploiting blackcurrant juice press residue in extruded snacks. *LWT-Food Science and Technology* 57(2): 618-627.

Matilla, A. (2003). Ecofisiología de la germinación de semillas. *La Ecofisiología Vegetal. Una ciencia de síntesis*. Madrid. 29, 901-922. Ediciones Paraninfo S.A.

Medina-Torres, L.; Calderas, F.; Ramírez, D.M.N.; Herrera-Valencia, E.E.; Bernad, M.J.B.; Manero, O. Spray drying egg using either maltodextrin or nopal mucilage as stabilizer agents. *J. Food Sci. Technol.* 2017, 54, 4427.

Melgarejo, P. (2000). *Tratado de fruticultura para zonas aridas y semiáridas*. Madrid, España: Madrid Vicente Ediciones.

Mercado Muñoz, F. (2014). Diversidad y sistemática del género *Opuntia ficus*, en la región de los Cabos, Baja California Sur, México.

Merino, A. G. P., & Vilà, M. B. (2021). *Alimentación, salud y sustentabilidad: hacia una agenda de investigación*. UNAM, Secretaría de Desarrollo Institucional.

Ming M., Aijuan B., Bo J., et al. (2014). Caracterización de un nuevopolisacárido soluble en agua de *Leuconostoc citreum* SK24.002 [J]. *Food Hydrocolloids*, 36: 265-272. DOI: 10.1016/j. foodhyd.2013.10.014.



Mohammed, A., & Abdullah, A. (2018, November). Scanning electron microscopy (SEM): A review. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics—HERVEX, Băile Govora, Romania* (Vol. 2018, pp. 7-9).

Montoya-López, J., & Giraldo-Giraldo, G. A. (2010). Caracterización físico-química de harina de trigo, masa y pan. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 20(1), 29-35.

Morales Villagrán, J. C. (2019). *Evaluación del efecto de la mezcla entre gritz de maíz Zea mays Gritz de zanahoria blanca Arracacia xanthorrhiza y el diámetro de salida de la boquilla en el producto extruido* (Bachelor's thesis).

Muñoz-Pabon, K. S., Parra-Polanco, A. S., Roa-Acosta, D. F., Hoyos-Concha, J. L., & Bravo-Gomez, J. E. (2022). Physical and Paste Properties Comparison of Four Snacks Produced by High Protein Quinoa Flour Extrusion Cooking. *Front. Sustain. Food Syst*, 6, 54.

Navale, SA, Swami, SB y Thakor, Nueva Jersey (2015). Tecnología de cocción por extrusión para alimentos: una revisión. *Revista de alimentos listos para comer*, 2 (3), 66-80.

Navatta, M. (2013). Caracterización de hidroxapatitas sintéticas nanoestructuradas mediante espectroscopía infrarroja (FTIR) y difracción de rayos X (XRD).

Nowak, V., Du, J., & Charrondièrre, U. R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Food Chemistry*, 193, 47–54.

Palomino, C., Molina, Y., & Pérez, E. (2010). Atributos físicos y composición química de harinas y almidones de los tubérculos de Colocasia esculenta (L.) Schott y Xanthosoma sagittifolium (L.) Schott. *Rev. Fac. Agron. (UCV)*, 36(2), 58-66.

Pellegrini, M., Lucas-Gonzales, R., Ricci, A., Fontecha, J., Fernández-López, J., PérezÁlvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2018). Chemical, fatty acid, polyphenolic profile, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) seeds. *Industrial Crops & Products*, 111, 38–46.

Pereira, R. (2019). Impactos de la producción de quinua en el Altiplano Sur de Bolivia. *Agrónomo experto en el área quinuera. Oruro*.

Perez, AA, Drago, SR, Carrara, CR, De Greef, DM, Torres, RL, & González, RJ (2008). Cocción por extrusión de una mezcla de maíz/soja: factores que afectan las características del producto expandido y la viscosidad de dispersión de la harina. *Diario de Ingeniería de Alimentos*, 87 (3), 333-340.

Pineda-Gómez, P., Coral, D. F., Ramos-Rivera, D., y Rosales-Rivera, A. (2011). Estudio de las propiedades térmicas de harinas de maíz producidas por tratamiento térmico-alcalino. *Ingeniería y Ciencia*, 7(14), 119-142

Placido, M., & Alemán, M. P. (2002). Método higrométrico rápido para determinar actividad del agua rapid hygrometric method for determining water activity método higrométrico rápido para determinar actividade da auga. *CYTA-Journal of Food*, 3(4), 229-235.

Pretsch E., Bühlmann P., Affolder C. (2000). *Structure Determination of Organic Compounds. Tables of spectral data*. 3rd ed. Berlib: Springer. 421

Prieto Chacón, E. M. (2008). Estudio de las transiciones térmicas del almidón y el almidón termoplástico mediante análisis térmicos (DSC y TGA).

Richter, J. K., Pietrysiak, E., Ek, P., Dey, D., Gu, B. J., Ikuse, M., ... & Ganjyal, G. M. (2022). Extrusion characteristics of ten novel quinoa breeding lines. *Journal of Food Science*.

Robin, F., Schuchmann, H. P., & Palzer, S. (2012). Dietary fiber in extruded cereals: Limitations and opportunities. *Trends in Food Science & Technology*, 28(1), 23-32.

Rojas, W., Pinto, M., Alanoca, C., Gomez Pando Pedro Leon-Lobos, L. G., Alercia, A., Diulgheroff, S. & Bazile, D. (2014). Estado de la conservación ex situ de los recursos genéticos de quinua.

Rojas, C; Portilla, P; Correa, E; Quila, V; Caicedo, E. (2010). Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de proteína en semillas de amaranto, quinua, soya y gandul. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 8(1).

Rosales, G., & Mercado, W. (2020). Efecto de los cambios en el precio de los alimentos sobre el consumo de la quinua y la seguridad alimentaria rural en el Perú. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 83-93.

Rosentrater, K.A. (2006). A Review of Corn Masa Processing Residues: Generation, Properties and Potential Utilization, Waste Management, ISSN 0956-053X, 26, 284-292.

Saavedra-Leos, MZ, Alvarez-Salas, C., Esneider-Alcalá, MA, Toxqui-Terán, A., Pérez-García, SA, & Ruiz-Cabrera, MA (2012). Hacia una metodología calorimétrica mejorada para la determinación de la temperatura de transición vítrea en azúcares amorfos. *CyTA-Journal of Food*, 10 (4), 258-267.

Sánchez, M.N., Ruiz., J.R., Dávila, G.O. y Jiménez, C.M. Propiedades Tecnofuncionales y Biológicas de Harina, Aislado y Fracciones Proteicas Mayoritarias de Semillas de Inga Paterno, *Journal of food*, 15(3), 400-408 (2017)

Seenaa, S.; Sridhar, K. R. (2005). Physicochemical, functional and cooking properties of under explored legumes, *Canavalia* of the southwest coast of India. *Food Res. Int.* 38, 803-814.

Sharmila, B., & Athmaselvi, K. A. (2017). Development of ready to eat extruded snacks from blend of under-utilized legumes and millets. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 9(6), 947-954.

Soto, L. Q., Rosas, J. C., Cortés, R. F., & Aldapa, C. G. (2016). Desarrollo y optimización de una botana extrudida directamente expandida a partir de harina de maíz azul (*Zea mays* L.) y bagazo de naranja (*Citrus sinensis* L.). *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 2(4).

Sobowale, S. S., Kewuyemi, Y. O., & Olayanju, A. T. (2021). Process optimization of extrusion variables and effects on some quality and sensory characteristics of extruded snacks from whole pearl millet-based flour. *SN Applied Sciences*, 3, 1-12.

Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., Ibanoglu, S., The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chem.* 2009, 114, 226-232.

Surinach, S. S. C., Baró, S., Bordas, S., Clavaguera, N., & Clavaguera-Mora, M. T. (1992). La calorimetría diferencial de barrido y su aplicación a la Ciencia de Materiales. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 1992, vol. 31, num. 1, p. 11-17.

Tas, A. A., & Shah, A. U. (2021). The replacement of cereals by legumes in extruded snack foods: Science, technology and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 701-711.

Thire, R., Simao, R., y Andrade, C. (2003). Investigation of the Surface Morphology of Plasticized Corn starch Films, *Act Microscopic* 12 (1), 175-179.

Tovar Hernández, C. E., Perafán Gil, E. A., Enríquez Collazos, M. G., Pismag Portilla, Y., & CERON-FERNANDEZ, L. O. R. E. N. A. (2017). Evaluación del efecto del proceso de extrusión en harina de quinua (*chenopodium quinoa willd*) normal y germinada. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 30-38. [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(15\)30-38](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(15)30-38)

Trivedi, M. K., Branton, A., Trivedi, D., Nayak, G., Singh, R., & Jana, S. (2015). Physical, spectroscopic and thermal characterization of biofield treated fish peptone. *European Journal of Biophysics*, 3(6), 51-58.

Vanga, S. K., Singh, A., Kalkan, F., Garipey, Y., Orsat, V., Raghavan, V., Effect of Thermal and High Electric Fields on Secondary Structure of Peanut Protein, *International Journal of Food Properties*, 19, 12591271 (2016).

Vasconez, D. V. (2017). Calorimetría diferencial de barrido.

Vignoni, L. A., Césari, R. M., Forte, M., & Mirábile, M. L. (2006). Determinación de índice de color en ajo picado. *Información tecnológica*, 17(6), 63-67.

Vilcacundo, R., & Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*, 14, 1-6.

Villacrés, E; Peralta, E; Egas, L; Mazón, N. (2011). Potencial agroindustrial de la quinua. Boletín Técnico N°146. Departamento de Nutrición y Calidad de los alimentos. Estación experimental Santa Catalina, INIAP. Ecuador. 32 p.

Vito Villa, J. J. (2019). Determinación de la vida útil mediante pruebas aceleradas (ASLT) de un producto extruido enriquecido con concentrado proteico de pota (*Dosidicus gigas*).

Widjanarko, SB, Nugroho, A. y Estiasih, T. (2011). Componentes de interacción funcional de aislados de proteínas y glucomanano en barras alimenticias mediante estudios FTIR y SEM. *Revista Africana de Ciencias de la Alimentación*, 5 (1), 12-21.

Xiong, Y. L. (1997). Protein denaturation and functionality losses. In M. C. Erickson, & Y. C. Hung (Eds.), *Quality in frozen food* (pp. 111–140). Boston: Springer.

Ye, J., Hu, X., Luo, S., Liu, W., Chen, J., Zeng, Z. y Liu, C. (2018). Propiedades del almidón después de la extrusión: una revisión. *Starch-Stärke*, 70 (11-12), 1700110. <https://doi.org/10.1002/star.201700110>

Zambrano, Y., Contardo, I., Moreno, MC, & Bouchon, P. (2022). Efecto de la temperatura de extrusión y el contenido de humedad del alimento sobre las propiedades microestructurales de los gránulos de harina de arroz y su impacto en el producto expandido. *Alimentos*, 11 (2), 198.

## ANEXO 1

### Anexo 1. Matriz de consistencia

	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DEFINICIÓN DE OPERACIONES			RECOLECCIÓN DE DATOS	
				VARIABLES	INDICADOR	DISEÑO DE MÉTODO	TÉCNICA	INSTRUMENTO
G	¿Cómo son las propiedades tecno-funcionales, térmicas y estructurales de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y harina de quinua germinada ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> )?	Determinar las propiedades tecno-funcionales, térmicas y estructurales de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y harina de quinua germinada ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ).	Las propiedades tecno funcionales, térmicas y estructurales influyen en la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y harina de quinua germinada ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ).	Porcentaje de pulpa de nopal	% de adición	Experimental	Calculo	Balanza
				Porcentaje de harina de quinua germinada	% de adición	Experimental	Calculo	Balanza
E1	¿Cómo son las propiedades tecno-funcionales de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y harina de quinua germinada ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> )?	Determinar las propiedades tecno-funcionales de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y harina de quinua germinada ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> )	La mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y harina de quinua germinada ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ) influye en las propiedades tecno-funcionales.	Propiedades tecno-funcionales	Índice de expansión	Gravimétrico	Gravimetría	Balanza
					Índice de absorción de agua	Gravimetrico	Gravimetria	
					Índice de solubilidad de agua	Gravimetrico	Gravimetria	
					Actividad de agua	Gravimetrico	Gravimetria	AquaLab
					Color	Colorimetrico	Colorimetria	Colorimetro

E2	¿Cómo son las propiedades térmicas de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y harina de quinua germinada ( <i>Chenopodium quinoaWilld</i> )?	Analizar las propiedades térmicas de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y harina de quinua germinada ( <i>Chenopodium quinoaWilld</i> )	La mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y harina de quinua germinada ( <i>Chenopodium quinoaWilld</i> ) influye en las propiedades térmicas	Propiedades térmicas	Calorimetria diferencial de barrido	Experimental	Calorimetria diferencial	Calorimetro
					Termogravimetria	Experimental	Termogravimetrico	Calorimetro
E3	¿Cómo son las propiedades estructurales de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y harina de quinua germinada ( <i>Chenopodium quinoaWilld</i> )?	Determinar las propiedades estructurales de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y harina de quinua germinar ( <i>Chenopodium quinoaWilld</i> )	La mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y harina de quinua germinar ( <i>Chenopodium quinoaWilld</i> ) influye en las propiedades estructurales.	Propiedades estructurales	Caracterizacion superficial	Experimental	Microscopia	Microscopio electronico de barrido
					Grupos funcionales	Experimental	evaluacion sensorial	Espectofotometro IFTR

## Anexo 2. Análisis estadístico del análisis proximal

### Resumen Estadístico para Humedad

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
HQG	3	6.57333	0.0971253	1.47757%	6.49	6.68	0.19
T0	3	5.38333	0.888388	16.5026%	4.38	6.07	1.69
T1	3	5.97333	0.526245	8.8099%	5.5	6.54	1.04
T2	3	8.84333	0.0929157	1.05069%	8.74	8.92	0.18
T3	3	5.65667	0.56748	10.0321%	5.17	6.28	1.11
T4	3	9.15	0.0916515	1.00166%	9.05	9.23	0.18
Total	18	6.93	1.6045	23.1529%	4.38	9.23	4.85

### Tabla ANOVA para Humedad por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	40.9357	5	8.18713	34.72	0.0000
Intra grupos	2.82933	12	0.235778		
Total (Corr.)	43.765	17			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T0	3	5.38333	X
T3	3	5.65667	X
T1	3	5.97333	X
HQG	3	6.57333	X
T2	3	8.84333	X
T4	3	9.15	X

### Resumen Estadístico para Proteína

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
HQG	3	13.4133	0.437531	3.26191%	13.03	13.89
T0	3	3.07333	0.0503322	1.63771%	3.02	3.12
T1	3	7.85	0.05	0.636943%	7.8	7.9
T2	3	7.75333	0.141539	1.82553%	7.59	7.84
T3	3	8.36667	0.117189	1.40067%	8.28	8.5
T4	3	8.01667	0.15308	1.90952%	7.9	8.19
Total	18	8.07889	3.08486	38.1842%	3.02	13.89

### Tabla ANOVA para Proteína por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	161.271	5	32.2542	762.91	0.0000
Intra grupos	0.507333	12	0.0422778		
Total (Corr.)	161.778	17			



### Pruebas de Múltiple Rangos para Proteína por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T0	3	3.07333	X
T2	3	7.75333	X
T1	3	7.85	XX
T4	3	8.01667	XX
T3	3	8.36667	X
HQG	3	13.4133	X

### Resumen Estadístico para Grasa

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
HQG	3	6.31667	0.0802081	1.26978%	6.24	6.4
T0	3	0.52	0.04	7.69231%	0.48	0.56
T1	3	0.863333	0.0208167	2.4112%	0.84	0.88
T2	3	0.756667	0.0404145	5.34113%	0.72	0.8
T3	3	0.99	0.0793725	8.01743%	0.93	1.08
T4	3	0.863333	0.0404145	4.68122%	0.84	0.91
Total	18	1.71833	2.12174	123.476%	0.48	6.4

### Tabla ANOVA para Grasa por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	76.494	5	15.2988	5090.17	0.0000
Intra grupos	0.0360667	12	0.00300556		
Total (Corr.)	76.53	17			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Grasa por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T0	3	0.52	X
T2	3	0.756667	X
T1	3	0.863333	XX
T4	3	0.863333	XX
T3	3	0.99	X
HQG	3	6.31667	X

### Resumen Estadístico para Ceniza

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
HQG	3	2.29333	0.0351188	1.53135%	2.26	2.33
T0	3	1.84333	0.0873689	4.73973%	1.77	1.94
T1	3	1.37333	0.0568624	4.14047%	1.31	1.42
T2	3	1.54	0.0458258	2.9757%	1.49	1.58
T3	3	1.63333	0.0305505	1.87044%	1.6	1.66
T4	3	1.53333	0.0416333	2.71522%	1.5	1.58
Total	18	1.70278	0.311067	18.2682%	1.31	2.33

### Tabla ANOVA para Ceniza por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.61123	5	0.322246	114.63	0.0000
Intra grupos	0.0337333	12	0.00281111		
Total (Corr.)	1.64496	17			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Ceniza por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T1	3	1.37333	X
T4	3	1.53333	X
T2	3	1.54	X
T3	3	1.63333	X
T0	3	1.84333	X
HQG	3	2.29333	X

### Resumen Estadístico para Fibra

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
HQG	3	2.63667	0.0568624	2.1566%	2.59	2.7
T0	3	1.17	0.0818535	6.99603%	1.1	1.26
T1	3	1.57333	0.0305505	1.94177%	1.54	1.6
T2	3	1.46	0.0458258	3.13875%	1.41	1.5
T3	3	1.93667	0.0251661	1.29946%	1.91	1.96
T4	3	1.78333	0.0305505	1.71311%	1.75	1.81
Total	18	1.76	0.475815	27.0349%	1.1	2.7

### Tabla ANOVA para Fibra por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.81973	5	0.763947	315.39	0.0000
Intra grupos	0.0290667	12	0.00242222		
Total (Corr.)	3.8488	17			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Fibra por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T0	3	1.17	X
T2	3	1.46	X
T1	3	1.57333	X
T4	3	1.78333	X
T3	3	1.93667	X
HQG	3	2.63667	X

### Resumen Estadístico para Carbohidratos

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
HQG	3	71.4033	0.628517	0.880234%	70.7	71.91
T0	3	89.18	0.848705	0.951676%	88.47	90.12
T1	3	83.94	0.565066	0.673179%	83.38	84.51
T2	3	81.1067	0.169214	0.208631%	80.92	81.25
T3	3	83.4533	0.493997	0.591944%	82.9	83.85
T4	3	80.4367	0.248462	0.308891%	80.15	80.59
Total	18	81.5867	5.52716	6.77459%	70.7	90.12

### Tabla ANOVA para Carbohidratos por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	515.804	5	103.161	349.89	0.0000
Intra grupos	3.53807	12	0.294839		
Total (Corr.)	519.342	17			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Carbohidratos por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
HQG	3	71.4033	X
T4	3	80.4367	X
T2	3	81.1067	X
T3	3	83.4533	X
T1	3	83.94	X
T0	3	89.18	X

### Anexo 3. Análisis estadístico de las propiedades tecnofuncionales

#### Resumen Estadístico para IE

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
T0	3	4.07	1.02196	25.1096%	3.47	5.25
T1	3	3.48333	0.011547	0.331493%	3.47	3.49
T2	3	3.46333	0.0057735	0.166704%	3.46	3.47
T3	3	3.47667	0.0057735	0.166064%	3.47	3.48
T4	3	3.45667	0.0152753	0.441907%	3.44	3.47
Total	15	3.59	0.459425	12.7974%	3.44	5.25

#### Tabla de Medias para IE por Tratamiento con intervalos de confianza del 95.0%

Tratamiento	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
T0	3	4.07	0.263923	3.45576	4.68424
T1	3	3.48333	0.263923	2.86909	4.09758
T2	3	3.46333	0.263923	2.84909	4.07758
T3	3	3.47667	0.263923	2.86242	4.09091
T4	3	3.45667	0.263923	2.84242	4.07091
Total	15	3.59			

#### Pruebas de Múltiple Rangos para IE por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T4	3	3.45667	X
T2	3	3.46333	X
T3	3	3.47667	X
T1	3	3.48333	X
T0	3	4.07	X

#### Resumen Estadístico para IAA

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
HQG	3	2.04	0.43715	21.4289%	1.73	2.54
T0	3	2.7	0.297153	11.0057%	2.36	2.91
T1	3	2.86	0.168226	5.88203%	2.67	2.99
T2	3	3.80333	0.130512	3.43151%	3.7	3.95
T3	3	2.80667	0.255799	9.11399%	2.63	3.1
T4	3	3.84667	0.0305505	0.794207%	3.82	3.88
Total	18	3.00944	0.689113	22.8983%	1.73	3.95

**Tabla de Medias para IAA por Tratamiento con intervalos de confianza del 95.0%**

Tratamiento	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
HQG	3	2.04	0.147403	1.68985	2.39015
T0	3	2.7	0.147403	2.34985	3.05015
T1	3	2.86	0.147403	2.50985	3.21015
T2	3	3.80333	0.147403	3.45319	4.15348
T3	3	2.80667	0.147403	2.45652	3.15681
T4	3	3.84667	0.147403	3.49652	4.19681
Total	18	3.00944			

**Pruebas de Múltiple Rangos para IAA por Tratamiento**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
HQG	3	2.04	X
T0	3	2.7	XX
T3	3	2.80667	X
T1	3	2.86	X
T2	3	3.80333	X
T4	3	3.84667	X

**Resumen Estadístico para ISA**

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
HQG	3	24.4233	2.62694	10.7559%	22.64	27.44
T0	3	48.8833	2.60433	5.32764%	47.33	51.89
T1	3	47.3467	0.858215	1.81262%	46.36	47.92
T2	3	33.4667	2.32777	6.9555%	30.78	34.88
T3	3	46.5867	2.73873	5.87878%	43.43	48.33
T4	3	31.42	0.671342	2.13667%	30.68	31.99
Total	18	38.6878	9.79255	25.3117%	22.64	51.89

**Tabla de Medias para ISA por Tratamiento con intervalos de confianza del 95.0%**

Tratamiento	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
HQG	3	24.4233	1.24253	21.4718	27.3749
T0	3	48.8833	1.24253	45.9318	51.8349
T1	3	47.3467	1.24253	44.3951	50.2982
T2	3	33.4667	1.24253	30.5151	36.4182
T3	3	46.5867	1.24253	43.6351	49.5382
T4	3	31.42	1.24253	28.4685	34.3715
Total	18	38.6878			

### Pruebas de Múltiple Rangos para ISA por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
HQG	3	24.4233	X
T4	3	31.42	X
T2	3	33.4667	X
T3	3	46.5867	X
T1	3	47.3467	X
T0	3	48.8833	X

### Resumen Estadístico para Aw

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
HQG	3	0.256667	0.0057735	2.24942%	0.25	0.26
T0	3	0.296667	0.0057735	1.94612%	0.29	0.3
T1	3	0.306667	0.0057735	1.88266%	0.3	0.31
T2	3	0.54	0	0%	0.54	0.54
T3	3	0.336667	0.0057735	1.7149%	0.33	0.34
T4	3	0.526667	0.0057735	1.09623%	0.52	0.53
Total	18	0.377222	0.116256	30.8189%	0.25	0.54

### Tabla de Medias para Aw por Tratamiento con intervalos de confianza del 95.0%

Tratamiento	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
HQG	3	0.256667	0.0030429	0.249438	0.263895
T0	3	0.296667	0.0030429	0.289438	0.303895
T1	3	0.306667	0.0030429	0.299438	0.313895
T2	3	0.54	0.0030429	0.532772	0.547228
T3	3	0.336667	0.0030429	0.329438	0.343895
T4	3	0.526667	0.0030429	0.519438	0.533895
Total	18	0.377222			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Aw por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
HQG	3	0.256667	X
T0	3	0.296667	X
T1	3	0.306667	X
T3	3	0.336667	X
T4	3	0.526667	X
T2	3	0.54	X

## Resumen Estadístico para L

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
HQG	3	82.2	0.0173205	0.0210712%	82.18	82.21
T0	3	67.26	0.0458258	0.0681323%	67.21	67.3
T1	3	61.4133	0.150444	0.244969%	61.24	61.51
T2	3	63.5167	0.0737111	0.11605%	63.46	63.6
T3	3	59.08	0.052915	0.089565%	59.04	59.14
T4	3	61.44	0.19	0.309245%	61.28	61.65
Total	18	65.8183	7.96788	12.1059%	59.04	82.21

## Tabla de Medias para L por Tratamiento con intervalos de confianza del 95.0%

Tratamiento	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
HQG	3	82.2	0.0620782	82.0525	82.3475
T0	3	67.26	0.0620782	67.1125	67.4075
T1	3	61.4133	0.0620782	61.2659	61.5608
T2	3	63.5167	0.0620782	63.3692	63.6641
T3	3	59.08	0.0620782	58.9325	59.2275
T4	3	61.44	0.0620782	61.2925	61.5875
Total	18	65.8183			

## Pruebas de Múltiple Rangos para L por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T3	3	59.08	X
T1	3	61.4133	X
T4	3	61.44	X
T2	3	63.5167	X
T0	3	67.26	X
HQG	3	82.2	X

## Resumen Estadístico para a

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
HQG	3	1.63333	0.0057735	0.35348%	1.63	1.64
T0	3	3.18333	0.0351188	1.10321%	3.15	3.22
T1	3	6.34333	0.0351188	0.553634%	6.31	6.38
T2	3	4.51667	0.0152753	0.338197%	4.5	4.53
T3	3	7.84667	0.0450925	0.574671%	7.8	7.89
T4	3	5.24667	0.110151	2.09946%	5.14	5.36
Total	18	4.795	2.08339	43.4493%	1.63	7.89

**Tabla de Medias para a por Tratamiento con intervalos de confianza del 95.0%**

Tratamiento	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
HQG	3	1.63333	0.0306413	1.56055	1.70612
T0	3	3.18333	0.0306413	3.11055	3.25612
T1	3	6.34333	0.0306413	6.27055	6.41612
T2	3	4.51667	0.0306413	4.44388	4.58945
T3	3	7.84667	0.0306413	7.77388	7.91945
T4	3	5.24667	0.0306413	5.17388	5.31945
Total	18	4.795			

**Pruebas de Múltiple Rangos para a por Tratamiento**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
HQG	3	1.63333	X
T0	3	3.18333	X
T2	3	4.51667	X
T4	3	5.24667	X
T1	3	6.34333	X
T3	3	7.84667	X

**Resumen Estadístico para b**

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
HQG	3	17.0	0.0173205	0.101885%	16.99	17.02
T0	3	17.6433	0.0493288	0.279589%	17.61	17.7
T1	3	23.2167	0.0873689	0.37632%	23.12	23.29
T2	3	26.5533	0.0802081	0.302064%	26.47	26.63
T3	3	24.48	0.150997	0.616817%	24.34	24.64
T4	3	27.0567	0.145029	0.536018%	26.91	27.2
Total	18	22.6583	4.10209	18.1041%	16.99	27.2

**Tabla de Medias para b por Tratamiento con intervalos de confianza del 95.0%**

Tratamiento	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
HQG	3	17.0	0.0580389	16.8621	17.1379
T0	3	17.6433	0.0580389	17.5055	17.7812
T1	3	23.2167	0.0580389	23.0788	23.3545
T2	3	26.5533	0.0580389	26.4155	26.6912
T3	3	24.48	0.0580389	24.3421	24.6179
T4	3	27.0567	0.0580389	26.9188	27.1945
Total	18	22.6583			



### Pruebas de Múltiple Rangos para b por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
HQG	3	17.0	X
T0	3	17.6433	X
T1	3	23.2167	X
T3	3	24.48	X
T2	3	26.5533	X
T4	3	27.0567	X

### Resumen Estadístico para C

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
HQ1	3	27.7667	0.126497	0.455572%	27.6937	27.9128
T0	3	56.1657	0.770058	1.37105%	55.4715	56.994
T1	3	147.272	1.23805	0.840653%	145.887	148.271
T2	3	119.933	0.708979	0.591146%	119.115	120.368
T3	3	192.091	2.27985	1.18686%	189.852	194.41
T4	3	141.968	3.74032	2.63462%	138.317	145.792
Total	18	114.199	57.6265	50.4613%	27.6937	194.41

### Tabla de Medias para C por Tratamiento con intervalos de confianza del 95.0%

Tratamiento	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
HQ1	3	27.7667	1.10132	25.1506	30.3828
T0	3	56.1657	1.10132	53.5496	58.7818
T1	3	147.272	1.10132	144.656	149.888
T2	3	119.933	1.10132	117.317	122.549
T3	3	192.091	1.10132	189.475	194.707
T4	3	141.968	1.10132	139.352	144.584
Total	18	114.199			

### Pruebas de Múltiple Rangos para C por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
HQ1	3	27.7667	X
T0	3	56.1657	X
T2	3	119.933	X
T4	3	141.968	X
T1	3	147.272	X
T3	3	192.091	X

## Resumen Estadístico para H

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
HQ1	3	84.512	0.0137151	0.0162286%	84.4961	84.5199
T0	3	79.7725	0.0845285	0.105962%	79.6895	79.8584
T1	3	74.7184	0.0630253	0.0843503%	74.649	74.7719
T2	3	80.3465	0.0233842	0.0291042%	80.3209	80.3668
T3	3	72.2276	0.0190285	0.0263452%	72.2069	72.2444
T4	3	79.0264	0.167536	0.211999%	78.8522	79.1864
Total	18	78.4339	4.0965	5.22287%	72.2069	84.5199

## Tabla de Medias para H por Tratamiento con intervalos de confianza del 95.0%

Tratamiento	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
HQ1	3	84.512	0.0473066	84.3996	84.6243
T0	3	79.7725	0.0473066	79.6601	79.8849
T1	3	74.7184	0.0473066	74.6061	74.8308
T2	3	80.3465	0.0473066	80.2341	80.4589
T3	3	72.2276	0.0473066	72.1152	72.3399
T4	3	79.0264	0.0473066	78.914	79.1388
Total	18	78.4339			

## Pruebas de Múltiple Rangos para H por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T3	3	72.2276	X
T1	3	74.7184	X
T4	3	79.0264	X
T0	3	79.7725	X
T2	3	80.3465	X
HQ1	3	84.512	X

#### Anexo 4. Panel Fotográfico



Germinación de Quinoa



Mucilago de nopal



Mezcla de harinas



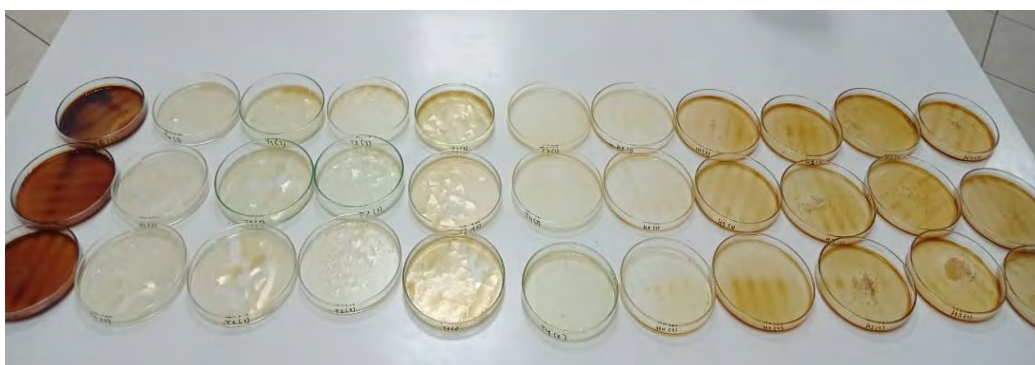
Elaboración de extruidos



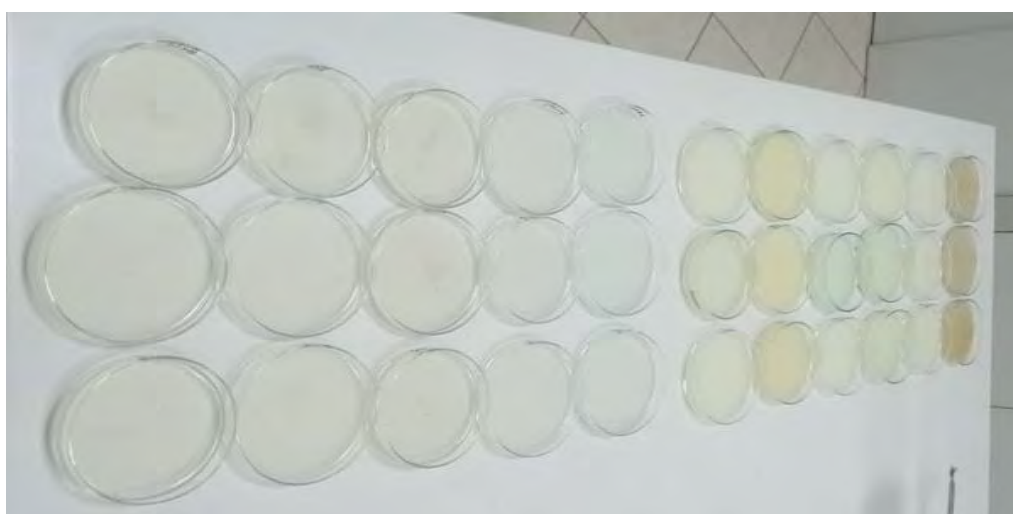
Determinación de color



Determinación de actividad de agua



Determinación de propiedades tecno funcionales – Índice de solubilidad de agua



Determinación de propiedades tecno funcionales - Índice de absorción de agua



Obtención de extruidos



## Anexo 5. Certificado de la muestra de quinua

**COOPERATIVA AGRARIA MACHUPICCHU**  
INTEGRACION S.A.S.  
Calle Comercio 1001, Talavera, Provincia de Andahuaylas, Región de Apurímac  
Teléfono: 052 222 222 222  
Correo electrónico: machupicchu@machupicchu.com

Produce orgánica de gran calidad  
**CAGMA**  
COOPERATIVA AGRARIA MACHUPICCHU

**CERTIFICADO DE QUINUA ORGANICA**

El que suscribe, Gerente General de la COOPERATIVA AGRARIA MACHUPICCHU LTDA – CAGMA LTDA

CERTIFICA:

Que la Señor (a) Mirian Estefani Obregón Yupanqui con DNI: 71658412, con domicilio en el Jr. 28 de julio s/n del Distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, Región de Apurímac, realizó la compra de 20 kg de quinua orgánica sin procesar de variedad CHOCLITO sembrados en el Distrito de José María Arguedas, Provincia de Andahuaylas, Región de Apurímac.

Se expide el presente certificado, a petición del interesado para fines pertinentes.

Andahuaylas, 03 de agosto del 2023

**CAGMA**  
COOPERATIVA AGRARIA MACHUPICCHU  
Edith Páramo Ordoñez  
GERENTE GENERAL

# PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES, TÉRMICAS Y ESTRUCTURALES DE UNA MEZCLA ALIMENTICIA EXTRUIDA Y FORTIFICADA CON PULPA DE NOPAL (*Opuntia ficus indica*) Y HARINA DE QUINUA GERMINADA (*Chenopodium quinoa Willd*)

Mirian E. Obregón-Yupanqui, David Choque-Quispe, Aydeé M. Solano-Reynoso, Fredy Taipe-Pardo  
Carlos A. Ligarda-Samanez, Betsy S. Ramos-Pacheco

## RESUMEN

En la actualidad los extruidos tienen un alto consumo, aunque estos requieren obtener un mayor valor nutricional, y esto se puede lograr adicionando otros constituyentes. La investigación tuvo como objetivo evaluar las propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales de la mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal (*Opuntia ficus indica*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa Willd*). Se elaboraron extruidos con una formulación comercial y se añadió harina de quinua germinada entre 10 a 20% y mucilago de nopal entre 5 a 10%. Se evaluó las propiedades tecnofuncionales, propiedades térmicas (DSC y TGA) y propiedades estructurales (pruebas SEM y análisis IR). Se determinó que el mucilago de nopal tiene efecto en las propiedades tecnofuncionales como el índice de solubilidad de agua, actividad de agua y color. Las propiedades térmicas con la técnica de DSC mostraron termogramas similares las cuales se encuentran inferior a la temperatura de extrusión y con la técnica TGA se muestra la descomposición térmica entre 240 - 347 °C donde se observa mayor pérdida de masa. En el análisis FTIR mostraron un pico intenso con una banda de 1150 cm<sup>-1</sup> de estiramiento C - O del grupo éster en la estructura C - O - C y en C - OH del anillo glicosídico de gránulos de almidón y también una banda de 1024 cm<sup>-1</sup> (maltoza). Respecto a la caracterización superficial se muestran diferentes para cada tratamiento, se encontró estructura con alveolos abiertos y otra estructura más cerrada y compacta. La adición de HQG y MN mejoran considerablemente las propiedades tecnofuncionales y estructurales del expandido convirtiendo en un potencial de uso en la industria alimentaria.

## INTRODUCCIÓN

Los extruidos son alimentos de consumo masivo, y adquieren mayor valor nutricional cuando se agregan otros constituyentes de fuente proteica y fibras. El objetivo de la investigación fue evaluar las propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales en un extruido fortificado con pulpa de nopal (*Opuntia ficus indica*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa Willd*). Esta investigación pretende buscar nuevas alternativas en extruidos con una sustitución parcial de mucilago de nopal y harina de quinua germinada por harina de maíz y harina de arroz, para analizar las propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales. Por lo tanto, en este trabajo se evaluó las propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales de una mezcla alimenticia extruida y fortificada.

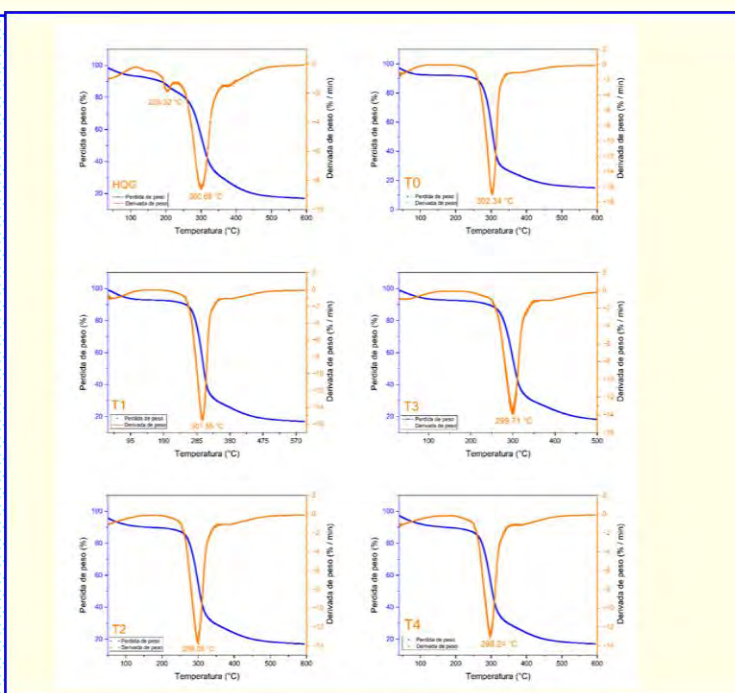
## METODOLOGÍA

Técnica por Calorimetría diferencial de barrido (DSC) se tomaron 2 mg de muestra de mezcla de extruidos fortificados para analizar la estabilidad térmica de los materiales por DSC (calorímetro diferencial de barrido), en un rango de temperatura entre 0 y 170 °C, en atmósfera de N<sub>2</sub>, con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, utilizando un calorímetro diferencial de barrido DSC 2500 (TA Instrument, New Castle, DE, EE. UU.).

Técnica por Análisis termogravimétrico (TGA) se tomaron 10 mg de muestra de mezcla de extruidos fortificados para analizar la estabilidad térmica de los materiales por TGA (análisis termogravimétrico) y DTA (análisis térmico diferencial), en un rango de temperatura entre 20 y 600 °C, en atmósfera de N<sub>2</sub>, con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, utilizando un analizador térmico TGA 550 (TA Instrument, New Castle, DE, EE. UU.).

## RESULTADOS

Las temperaturas necesarias para la desnaturalización proteica. Los tratamientos de las mezclas extruidas y la harina de quinua germinada HQG, T0, T1, T2, T3, T4 presentaron una ligera variación de temperatura de fusión de 132.26 °C, 133.40 °C, 133.65 °C, 132.72 °C, 132.64 °C y 132.55 °C, respectivamente. Sin embargo, la entalpía ( $\Delta H$ ) del tratamiento T1 (15,36 J/g) fue la más alta, mientras que el tratamiento T3 (5,46 J/g) fue la más baja, lo que demuestra que a mayor sustitución parcial de harina de quinua germinada se requiere menor energía para la desnaturalización. Una mayor temperatura en el DSC indica mayor estabilidad esto puede deberse a la ausencia de estructuras terciarias y cuaternarias de enlaces peptídicos y a los aminoácidos más estables de la fracción de menor peso molecular (Trivedi et al., 2015). Por tanto, los tratamientos pueden sufrir pérdidas mínimas de sus propiedades (Xiong, 1997) durante el proceso de producción de snacks extrusionados, en contraste con las otras muestras, que mostraron una temperatura de desnaturalización inferior a la temperatura de extrusión aplicada.



## CONCLUSIONES

Las propiedades térmicas mostraron termogramas similares en los diferentes tratamientos, con una ligera variación en las temperaturas de desnaturalización entre 133,65°C, 132,72°C, 132,64°C y 132,55°C. Estos valores indican una mayor estabilidad térmica ya que son inferiores a la temperatura utilizada en el proceso de extrusión. El análisis mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) mostró una elevada pérdida de masa durante la etapa de descomposición, observándose una disminución de entre el 57% y 63% de la masa inicial a una temperatura de 240°C a 347°C. Esta significativa pérdida de masa está causada principalmente por la descomposición térmica de compuestos orgánicos como proteínas, lípidos y carbohidratos presentes en los tratamientos evaluados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gutiérrez, P., & Javier, J. (2011). Caracterización fisicoquímica de la Harina de Maíz Criollo (*Zea mays amyloacea*) y su aplicación en la elaboración de pan.
- Guzmán Loayza, D., & Chávez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus indica*) para el consumo humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(1), 41-45.
- Hurtt, M., Pitkänen, I., & Knuutinen, J. (2004). Melting behaviour of D-sucrose, D-glucose and D-fructose. *Carbohydrate research*, 339(13), 2267-2273