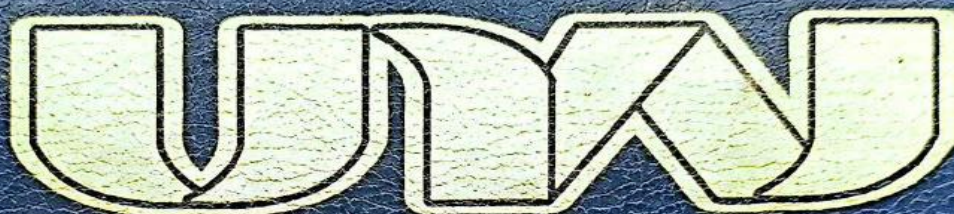




UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“EVALUACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE MACRONUTRIENTES,
MICRONUTRIENTES Y MICROESTRUCTURA DEL EXTRUIDO
NUTRITIVO A BASE DE FENOGRACO (*Trigonella foenum-graecum* L.),
QUINUA NEGRA (*Chenopodium quinoa* Willd) Y QUINUA ROJA
(*Chenopodium quinoa* Willd)”**

Abel Dino Vera Bellido
Yudith Luzmery Ticona Laura

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesor (A): Dra. ELIZABETH HUANATICO SUAREZ
Co-Asesor: Mg. FRANKLYN ELARD ZAPANA YUCRA



Juliaca, 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“EVALUACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE MACRONUTRIENTES,
MICRONUTRIENTES Y MICROESTRUCTURA DEL EXTRUIDO
NUTRITIVO A BASE DE FENOGRÉCO (*Trigonella foenum-graecum* L.),
QUINUA NEGRA (*Chenopodium quinoa* Willd) Y QUINUA ROJA
(*Chenopodium quinoa* Willd)”**

Abel Dino Vera Bellido
Yudith Luzmery Ticona Laura

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesor (A): Dra. ELIZABETH HUANATICO SUAREZ
Co-Asesor: Mg. FRANKLYN ELARD ZAPANA YUCRA



Juliaca, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“EVALUACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE MACRONUTRIENTES,
MICRONUTRIENTES Y MICROESTRUCTURA DEL EXTRUIDO
NUTRITIVO A BASE DE FENOGRECO (*Trigonella foenum-graecum L.*),
QUINUA NEGRA (*Chenopodium quinoa Willd*) Y QUINUA ROJA
(*Chenopodium quinoa Willd*)”**

Abel Dino Vera Bellido

Yudith Luzmery Ticona Laura

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

Asesor (A): Dra. ELIZABETH HUANATICO SUAREZ

Co-Asesor: Mg. FRANKLYN ELARD ZAPANA YUCRA

Juliaca, 2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Vera, A. y Ticona, Y. (2026). *Evaluación de los contenidos de macronutrientes, micronutrientes y microestructura del extruido nutritivo a base de fenogreco (Trigonella foenum-graecum), quinua negra (Chenopodium quinoa Willd) y quinua roja (Chenopodium quinoa Willd)*. [Tesis de pregrado, Ingeniería, Universidad Nacional de Juliaca]. Juliaca, Perú.

AUTOR: Abel Dino Vera Bellido

Yudith Luzmery Ticona Laura

TÍTULO: Evaluación de los contenidos de macronutrientes, micronutrientes y microestructura del extruido nutritivo a base de fenogreco (*trigonella foenum-graecum*), quinua negra (*chenopodium quinoa willd*) y quinua roja (*chenopodium quinoa willd*).

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2026.

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (144 pp)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias - Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 03-000053-03/T52

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR DE TESIS: Dra. Elizabeth Huanatico Suarez

CO-ASESOR DE TESIS: Mg. Franklyn Elard Zapana Yucra

PALABRAS CLAVES: Extruido, Absorción, Solubilidad, Fenogreco, Nutritivo.

Abel Dino Vera Bellido Yudith Luzmery Ticona Laur...

EVALUACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE MACRONUTRIENTES, MICRONUTRIENTES Y MICROESTRUCTURA DEL EXTRUIDO N...



Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:628237624

Fecha de entrega

22 sep 2026, 3:50 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

22 sep 2026, 3:55 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

EVALUACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE MACRONUTRIENTES, MICRONUTRIENTES Y MICROESTRUC....pdf

Tamaño del archivo

4.5 MB

161 páginas

37.462 palabras

191.795 caracteres



Firmado digitalmente por HUANCA
SUAGUETA JHON RICHARD
DN: c=PE, o=UNW, ou=UNW, email=jhonrichard.suaguetaj@unw.edu.pe,
serial=1, version=3
Motivo: Soy V° B°
Fecha: 25.09.2026 21:18:11 -05:00

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
100 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
2 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Firmado digitalmente por HUANCA
SUAQUITA JHON RICHARD
DN: cn=JHON RICHARD
Motivo: Doy Vº Bº
Fecha: 25.09.2026 21:18:40 -05:00

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS

“EVALUACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE MACRONUTRIENTES, MICRONUTRIENTES Y MICROESTRUCTURA DEL EXTRUIDO NUTRITIVO A BASE DE FENOGRACO (*Trigonella foenum-graecum*), QUINUA NEGRA (*Chenopodium quinoa Willd*) Y QUINUA ROJA (*Chenopodium quinoa Willd*)”.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentada por:

Abel Dino Vera Bellido
Yudith Luzmery Ticona Laura

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. JULIO MACHACA YANA
PRESIDENTE DE JURADO

1° MIEMBRO

Dr. JULIO RUMUALDO GALLEGOS RAMOS
JURADO (Secretario)

2° MIEMBRO

Dra. SILVANA LISSET AGUILAR TUESTA
JURADO (Vocal)

3° MIEMBRO

Dra. ELIZABETH HUANATICO SUAREZ
ASESOR DE TESIS

Mg. FRANKLYN ELARD ZAPANA YUCRA
CO-ASESOR DE TESIS

DEDICATORIA

Dios es a quien dedico esto, por permitirme conseguir mis metas.

A mi madre Leonisa, por ser un ejemplo de fortaleza y por darme su amor incondicional. Gracias por enseñarme a nunca darme por vencido y por acompañarme en cada etapa de mi vida con su apoyo constante.

A mis hermanas Sayda y Dina Luz por su apoyo, motivación y palabras de aliento.

A mi hermano Luis y a mi padre Luis Felipe que desde el cielo han sido mi guía y mi fortaleza. Aunque no están presentes esencialmente, su bendición siempre está conmigo en cada paso en el camino.

Abel Dino

A Dios, por ser mi fortaleza en los momentos en que más me costó seguir adelante.

A mi padre, ejemplo de lucha y fortaleza de amor porque a lo largo de mi vida fue la persona que aplaudió, mis éxitos, y siempre animándome a seguir mis sueños y nunca rendirme.

A mi madre, mi ángel en el cielo, aunque ya no este físicamente con nosotros su espíritu fue mi fuente de inspiración y perseverancia.

A mis herman@s, por inspirarme con su ejemplo, su apoyo y la confianza que siempre depositaron en mí.

Yudith Luzmery

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue posible gracias al apoyo, colaboración y acompañamiento de las personas e instituciones que aportaron para su realización.

En primer lugar, queremos agradecer a nuestros asesores la **Dra. ELIZABETH HUANATICO SUÁREZ** y al **Mg. FRANKLIN ELARD ZAPANA YUCRA**, por su compromiso, orientación y apoyo constante que fueron fundamentales en todo el proceso de investigación. Sus observaciones, paciencia y dedicación enriquecieron esta labor y aportaron en gran medida a la calidad del estudio.

Extendemos también nuestro agradecimiento a los miembros del jurado: **Dr. JULIO MACHACA YANA**, **Dr. JULIO RUMUALDO GALLEGOS RAMOS** y **Dra. SILVANA LISSET AGUILAR TUESTA**, quienes con sus valiosos comentarios, sugerencias y rigurosa revisión enriquecieron significativamente este trabajo. Su criterio académico, profesionalismo permiten fortalecer cada una de las etapas de este proceso. También agradecemos a la Lic. Deysi R. Cáceres Inofuente, por su apoyo técnico, disponibilidad y profesionalismo. Su colaboración que fue fundamental para la ejecución de adecuada de los procedimientos y análisis.

De igual manera a nuestros familiares, por todo el apoyo que nos brindaron a lo largo de este proceso.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
INDICE GENERAL	iii
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiii

CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2 LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	2
1.2.1 PREGUNTA GENERAL	2
1.2.2 PREGUNTAS ESPECIFICAS.....	2
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4 JUSTIFICACIÓN	3

CAPITULO II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES	5
2.2 MARCO TEÓRICO	7
2.2.1 QUINUA INIA 415 – ROJA PASANKALLA	7
2.2.2 QUINUA INIA 420 – NEGRA COLLANA.....	8

2.2.3 TAXONOMÍA DE LA QUINUA	8
2.2.4 EFECTO DE LA QUINUA EN LA SALUD HUMANA.....	9
2.2.5 PERFIL NUTRICIONAL DE LA HARINA DE QUINUA.....	9
2.2.6 FENOGRECO	10
2.2.7 ANÁLISIS PROXIMAL DE FENOGRECO.....	11
2.2.8 COMPUESTO AROMÁTICO DEL FENOGRECO.....	11
2.2.9 SNACKS	12
2.2.10 CLASIFICACIÓN	12
2.2.11 LA EXTRUSIÓN.....	12
2.2.12 EXTRUSOR.....	12
2.2.13 TIPO DE EXTRUSORES.....	13
2.2.14 EXTRUSORES MONOTORNILLOS	13
2.2.15 EXTRUSORA DOBLE TORNILLO	13
2.2.16 EFECTOS DE LA EXTRUSIÓN	14
2.2.17 PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN HUMEDAD, TEMPERATURA Y RPM.	15
2.2.18 VENTAJAS DE LA EXTRUSIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	16
2.2.19 ACEPTABILIDAD SENSORIAL DEL ALIMENTO ASPECTOS SENSORIALES	16
2.2.20 SENTIDO DEL GUSTO	17
2.2.21 ÍNDICE DE EXPANSIÓN	18
2.2.22 ÍNDICE DE SOLUBILIDAD DE AGUA (ISA).....	18
2.2.23 ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA).....	18
2.2.24 NUTRIENTES	18
2.2.25 VALOR DIARIO	19
2.2.26 MACRONUTRIENTES	20
2.2.27 MICRONUTRIENTES.....	21

2.2.28 MINERALES.....	21
2.2.29 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)	22

CAPITULO III MATERIALES Y METODOS

3.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	23
3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA	23
3.3 POBLACIÓN.....	23
3.4 MUESTRA	23
3.5 DESARROLLO EXPERIMENTAL	25
3.6 DISTRIBUCIONES GEOGRÁFICAS.....	25
3.7 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL DE HARINA DE FENOGRACO	28
3.8 DISEÑO EXPERIMENTAL DE HARINA DE QUINUA	29
3.9 DIAGRAMA EXPERIMENTAL GENERAL	30
3.9.1 METODOLOGÍA POR OBJETIVO.....	32
3.10 MÉTODO DE ANÁLISIS	35
3.10.1 TEXTURA	35
3.10.2 COLOR	36
3.10.3 ÍNDICE DE SOLUBILIDAD (ISA) E ÍNDICE DE ABSORCIÓN (IAA).....	37
3.10.4 ÍNDICE DE EXPANSIÓN	37
3.10.5 ACEPTABILIDAD SENSORIAL.....	40

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 ANÁLISIS PROXIMAL DEL FENOGRACO.....	44
4.2 TEXTURA.....	46
4.3 COLOR.....	48
4.4 HUMEDAD.....	52

4.5	ÍNDICE DE SOLUBILIDAD DE AGUA E ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA	54
4.6	ÍNDICE DE EXPANSIÓN	58
4.7	DESEABILIDAD Y VALIDACIÓN	60
4.8	ACEPTABILIDAD SENSORIAL	61
4.9	MACRONUTRIENTES Y MICRONUTRIENTES	66
4.10	MICROESTRUCTURA	69

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES	74
5.2	RECOMENDACIONES	75

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Taxonomía de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.)</i>	8
Tabla 2 <i>Análisis proximal de 100gr. de harina de Quinoa</i>	9
Tabla 3 <i>Taxonomía del fenogreco (Trigonella foenum-graecum L.)</i>	10
Tabla 4 <i>Análisis proximal de 100g de semilla de fenogreco</i>	11
Tabla 5 <i>Principales variables que influyen en el proceso de extrusión.</i>	15
Tabla 6 <i>Referencia del valor nutricional diario</i>	19
Tabla 7 <i>Operacionalización de las variables de estudio.</i>	24
Tabla 8 <i>Parámetros para la extrusión</i>	31
Tabla 9 <i>Variables para la extrusión.</i>	34
Tabla 10 <i>Tratamientos para las mejores condiciones según Box Behnken.</i>	35
Tabla 11 <i>Diseño factorial 2³ formulación de harinas.</i>	39
Tabla 12 <i>Formulaciones normalizadas a 100%.</i>	40
Tabla 13 <i>Contenido proximal de la harina de fenogreco (Trigonella foenum-graecum L.)</i>	44
Tabla 14 <i>Resultados del análisis de textura del extruido.</i>	46
Tabla 15 <i>Resultado del análisis de colorimetría del extruido.</i>	48
Tabla 16 <i>Resultados de porcentaje de humedad del extruido</i>	52
Tabla 17 <i>Resultado de (ISA) e (IAA) del extruido.</i>	55
Tabla 18 <i>Resultado del índice de expansión del extruido</i>	58
Tabla 19 <i>Valores predictivos para la extrusión según su IE.</i>	60
Tabla 20 <i>Validación a 95% de confianza en IE</i>	60
Tabla 21 <i>Resultado del análisis sensorial de los extruidos con mayor preferencia</i>	62
Tabla 22 <i>Resultado de Macronutrientes y Micronutrientes.</i>	66
Tabla 23 <i>Información nutricional del extruido con mejor aceptabilidad sensorial.</i>	69
Tabla 24 <i>Comparación de los parámetros de porosidad</i>	71
Tabla 25 <i>Comparación de distribución de tamaño de poros</i>	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura interna del grano de quinua en sección longitudinal central.	8
Figura 2 Planta y semillas de Fenogreco (<i>Trigonella foenum-graecum</i> L.).....	10
Figura 3 Partes de una extrusora.....	13
Figura 4 Ubicación del lugar de obtención del fenogreco.	25
Figura 5 Diagrama del proceso obtención de harina de fenogreco.	28
Figura 6 Diagrama del proceso obtención de harina de quinua roja y negra.	29
Figura 7 Diagrama experimental general.....	30
Figura 8 Diagrama de flujo objetivo 01.....	32
Figura 10 Diagrama experimental objetivo 02	38
Figura 11 Diagrama de flujo del objetivo 03.....	42
Figura 12 Grafica del efecto de la temperatura y la humedad en la textura del extruido.....	47
Figura 13 resultados de L color	49
Figura 14 resultados de a color.	50
Figura 15 Resultados de b color.	51
Figura 16 Gráfico del % de humedad en el extruido.	53
Figura 18 Índice de Absorción de absorción de agua (IAA) del extruido.	57
Figura 19 Grafico del índice de expansión en el extruido.	59
Figura 20 Gráfico de aceptabilidad sensorial del extruido.	62
Figura 21 Efecto de las mezcla de harina en el color del extruido.....	63
Figura 22 Efecto de la mezcla de harinas en el sabor del extruido.	64
Figura 23 Efecto de la mezcla de harinas en la apariencia global del extruido.	65
Figura 24 SEM formulación F4 harina y extruido.....	70

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 <i>Matriz de consistencia.</i>	94
ANEXO 2 <i>Determinación de cenizas.</i>	96
ANEXO 3 <i>Determinación de humedad.</i>	97
ANEXO 4 <i>Metodología para la extracción de grasa</i>	99
ANEXO 5 <i>Método de análisis de proteínas</i>	101
ANEXO 6 <i>Metodología para el análisis de fosforo P.</i>	102
ANEXO 7 <i>Metodología para el análisis de Mg.</i>	104
ANEXO 8 <i>Metodología de análisis Vitamina A.</i>	105
ANEXO 9 <i>Metodología de análisis de Vitamina C.</i>	106
ANEXO 10 <i>Método de evaluación de análisis sensorial de la aceptabilidad</i>	108
ANEXO 11 <i>Metodología para el cálculo del % valor diario (%VD).</i>	109
ANEXO 12 <i>Balance de materia obtención de harina de fenogreco</i>	109
ANEXO 13 <i>Balance de materia obtención de harina de quinua roja y negra</i>	111
ANEXO 14 <i>Balance de materia de extruido</i>	112
ANEXO 15 <i>Balance de energía</i>	113
ANEXO 16 <i>ANOVA de la textura del extruido.</i>	114
ANEXO 17 <i>ANOVA L* colorimetría de extruido.</i>	116
ANEXO 18 <i>ANOVA a* de colorimetría del extruido.</i>	117
ANEXO 19 <i>ANOVA colorimetría b* del extruido.</i>	118
ANEXO 20 <i>ANOVA de la humedad</i>	119
ANEXO 21 <i>ANOVA de índice de absorción de agua (IAA)</i>	121
ANEXO 22 <i>ANOVA de índice solubilidad de agua (ISA).</i>	122
ANEXO 23 <i>ANOVA de índice de expansión (IE)</i>	123
ANEXO 24 <i>ANOVA de color en aceptabilidad sensorial.</i>	125
ANEXO 25 <i>ANOVA de sabor aceptabilidad sensorial</i>	126

ANEXO 26 ANOVA de preferencia global análisis sensorial.	127
ANEXO 27 Quinoa entera de El Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).	127
ANEXO 28 Lavado del fenogreco.....	128
ANEXO 29 Mezcla de harinas para su extrusión.	128
ANEXO 30 Extrusoras y muestras de tratamientos extruidos.	128
ANEXO 31 Formulaciones y determinación de cenizas.	129
ANEXO 32 Analizando la textura y el índice de expansión.	129
ANEXO 33 Evaluación sensorial.....	129
ANEXO 34 Resultados del análisis proximal del fenogreco.	130
ANEXO 35 Resultados de microscopia electrónica de barrido.	130
ANEXO 36 Imágenes de SEM de mezcla de harinas.....	131
ANEXO 37 Imágenes de SEM en extruidos.	131
ANEXO 38 Datos de textura (N).....	132
ANEXO 39 Datos de índice de expansión (IE).	132
ANEXO 40 Datos de humedad.....	133
ANEXO 41 Datos colorimetría CIELAB.	133
ANEXO 42 Datos de índice de solubilidad de agua (ISA).	134
ANEXO 43 Datos de índice de absorción de agua (IAA).	134
ANEXO 44 Datos de Evaluación sensorial	135

RESUMEN

El objetivo de este estudio es determinar las mejores condiciones de humedad, temperatura y rpm en el proceso de extrusión, y el efecto de la harina de fenogreco, quinua negra y quinua roja en la aceptabilidad sensorial, caracterización nutricional y microestructural. Se trabajó con humedad (H) de 12-17%, temperatura (T) 130-150°C y velocidad de tornillo (rpm) entre 300 y 400 rpm. Se utilizó una extrusora doble tornillo IMBRA con una tasa de alimentación de 25kg/h, diámetro de dado 5mm y velocidad de cuchilla 10 rpm. Esta etapa se desarrolló mediante un diseño experimental Box–Behnken. Los parámetros evaluados fueron textura, porcentaje de humedad, color, índice de solubilidad de agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA) e índice de expansión (IE), y se eligió las mejores condiciones de extrusión. En la aceptabilidad sensorial del extruido nutritivo se trabajó con harina de fenogreco (5 %–9 %), quinua roja (40 %–60 %) y quinua negra (30-32) %. Para esta etapa se aplicó un diseño factorial 2^3 , con tres réplicas por formulación. Para el análisis de macronutrientes, micronutrientes y microestructura se trabajó con las 2 mejores muestras con mayor aceptabilidad. Resultados: las mejores condiciones son de 12 % de humedad y 150 °C de temperatura. En la aceptabilidad sensorial, las formulaciones F4 y F8 obtuvieron mayor preferencia en color, sabor y preferencia global. En conclusión, la humedad es uno de los factores que más afecta en el proceso de extrusión, en la elaboración de subproductos con harina de fenogreco debe ser menor a 5.26% por su fuerte aroma. En el proceso de extrusión se tiene perdidas de nutrientes ya que son afectadas por la temperatura y cizallamiento en él durante el proceso, en microestructura se debe considerar que en el fenogreco el galactomanano afecta en la formación de poros.

Palabras claves: Extruido, Absorción, Solubilidad, Fenogreco, Nutritivo.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the optimal humidity, temperature, and rpm conditions for the extrusion process and the effect of fenugreek, black quinoa, and red quinoa flour on sensory acceptability, nutritional characterization, and microstructural properties. The experiment was conducted using a moisture content of 12–17%, a temperature of 130–150°C, and a screw speed between 300 and 400 rpm. An IMBRA twin-screw extruder was used with a feed rate of 25 kg/h, a die diameter of 5 mm, and a blade speed of 10 rpm. This stage was developed using a Box–Behnken experimental design. The parameters evaluated were texture, moisture content, color, water solubility index (WSI), water absorption index (WAI), and expansion index (EI), and the optimal extrusion conditions were selected. The sensory acceptability of the nutritious extrudate was assessed using fenugreek flour (5%–9%), red quinoa (40%–60%), and black quinoa (30%–32%). A 2³ factorial design with three replicates per formulation was used for this stage. The two best-performing samples with the highest acceptability were used for the analysis of macronutrients, micronutrients, and microstructure. Results: The optimal conditions were 12% moisture and 150°C. In terms of sensory acceptability, formulations F4 and F8 received the highest preference in terms of color, flavor, and overall preference. In conclusion, moisture is one of the factors that most affects the extrusion process. In the production of byproducts with fenugreek flour, it should be less than 5.26% due to its strong aroma. In the extrusion process, there are nutrient losses as they are affected by the temperature and shear during the process; in microstructure, it should be considered that in fenugreek, galactomannan affects pore formation.

Keywords: Extruded, Absorption, Solubility, Fenugreek, Nutritious

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la desnutrición continúa siendo uno de los principales problemas de salud en el mundo, especialmente en los países en proceso de desarrollo, donde las deficiencias de nutrientes afectan principalmente a la población infantil y rural (FAO, 2026). La insuficiente ingesta de proteínas, vitaminas y minerales repercute negativamente en el crecimiento y desarrollo de los niños, comprometiendo la funcionalidad de sus órganos y tejidos (Efobi et al., 2019). Asimismo, las tendencias actuales de alimentación han impulsado la búsqueda de alimentos funcionales y nutritivos que contribuyan a mejorar el estado nutricional de la población (Galarza & Cairo, 2013). Diversas investigaciones señalan que los alimentos elaborados a partir de granos andinos constituyen una alternativa sostenible para combatir la desnutrición y promover la seguridad alimentaria (Campos et al., 2022).

Entre las materias primas con mayor potencial nutricional destaca el fenogreco (*Trigonella foenum-graecum*), una leguminosa reconocida por sus propiedades funcionales y medicinales (Khorshidian, 2016). Sus semillas contienen proteínas, fibra dietética, minerales y compuestos bioactivos, entre ellos galactomananos y saponinas, que le confieren propiedades antioxidantes (Singh et al., 2014). Debido a estas características, esta especie ha sido considerada un ingrediente prometedor para el desarrollo de alimentos funcionales y nutraceuticos (Alu'datt et al., 2024). De igual manera, diversos estudios destacan su potencial para la elaboración de productos alimenticios con valor agregado y beneficios para la salud humana (Khorshidian, 2016).

Por otro lado, la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) es considerada uno de los cultivos de mayor importancia nutricional debido a su excelente composición química y a la presencia de compuestos bioactivos (Campos et al., 2022). Asimismo, la quinua constituye una fuente importante de vitaminas, minerales y fibra dietética, contribuyendo significativamente a una alimentación saludable (Vilcacundo & Hernández, 2017). Las variedades de quinua roja y quinua negra presentan mayores concentraciones de compuestos fenólicos y pigmentos antioxidantes que la quinua blanca (Tang & Tsao, 2017). Por ello, estas variedades han despertado un creciente interés en la industria alimentaria para la elaboración de productos funcionales (Alu'datt et al., 2024).

La tecnología de extrusión se ha consolidado como una de las principales herramientas empleadas por la industria alimentaria para el desarrollo de productos innovadores, tales como snacks, cereales

de desayuno y alimentos instantáneos (Guy, 2001). Este proceso permite modificar las características físicas, químicas y funcionales de las materias primas mediante la combinación de temperatura, presión y cizallamiento mecánico (Ding et al., 2006). Además, la extrusión presenta ventajas relacionadas con la reducción de factores antinutricionales y la mejora de la digestibilidad de los nutrientes (Manosalvas et al., 2019). Sin embargo, la calidad del producto final depende en gran medida de las condiciones de procesamiento empleadas (Chen et al., 2025). Entre los factores más importantes se encuentran la humedad, la temperatura y la velocidad de rotación del tornillo, variables que influyen en la expansión, textura, propiedades funcionales del extruido (Alu'datt et al., 2024).

En este contexto, la combinación de fenogreco con quinua negra y roja se presenta como una opción prometedora para crear alimentos funcionales que aporten mayores beneficios nutricionales. El fenogreco es fuente de proteínas, hierro, fósforo, calcio, magnesio, fibra y antioxidantes. (Khorshidian, 2016), mientras que la quinua proporciona proteínas de alta calidad, minerales y compuestos fenólicos beneficiosos para la salud (Campos et al., 2022). Asimismo, las variedades pigmentadas de quinua presentan una elevada capacidad antioxidante, lo que incrementa su potencial como ingredientes funcionales (Tang & Tsao, 2017). La incorporación de estas materias primas en productos extruidos podría contribuir al desarrollo de alimentos destinados a poblaciones con necesidades nutricionales específicas (Alu'datt et al., 2024).

Por consiguiente, esta investigación tiene como propósito evaluar el contenido de macronutrientes y micronutrientes, así como la microestructura de un extruido elaborado a base de fenogreco, quinua negra y quinua roja. Asimismo, se busca establecer las condiciones más adecuadas de humedad, temperatura y velocidad de rotación del tornillo para el proceso de extrusión.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La desnutrición sigue siendo un problema de salud pública a nivel mundial. Según un informe de la Organización Mundial de la Salud OMS (2026), casi 148 millones de niños menores de cinco años sufren retraso en el crecimiento y 45 millones padecen desnutrición aguda.

Según el indica MINSA (2026), que el 12.1% que son 300,000 niños que tienen desnutrición que afecta su desarrollo corporal y cognitivo durante la adolescencia en Perú, la región de Puno tiene el 11.6% de desnutrición equivalente a 11,600 niños.

Uno de los factores de la desnutrición en la región de Puno es la pobreza, que afecta al 43.8% de su población, según datos de INEI (2022). La dieta de muchas familias rurales de Puno es rica en carbohidratos, pero pobre proteínas, vitaminas y minerales esenciales.

En ese sentido, en la necesidad de explorar productos alimenticios novedosos y saludables. Al superar esta brecha de conocimiento, En este sentido, resulta de interés desarrollar productos alimenticios novedosos que combinen características sensoriales aceptables y un perfil nutricional de interés, contribuyendo a la diversificación de productos extruidos.

El fenogreco es un producto poco conocido y con un alto valor nutritivo, que muchas personas desconocen de su existencia. Según, Wani et al.(2016) indica que el uso de *Trigonella foenum-graecum* (fenogreco o alholva) resulta de gran interés debido a su elevado contenido de proteína, fibra dietaría, compuestos fenólicos y minerales como hierro, fósforo y magnesio (Li et al., 2026) Así mismo la incorporación de quínoa roja y quinua negra representa una alternativa estratégica, debido a que ambas variedades poseen alto contenido proteico, excelente balance de aminoácidos esenciales, compuestos antioxidantes, fibra dietaría y minerales, además de ser naturalmente libres de gluten. La FAO reconoce a la quinua como un cultivo de importante valor nutricional y con un

considerable potencial para la alimentación. Estudios han señalado que la quinua roja destaca por su capacidad antioxidante, mientras que la variedad negra presenta un aporte relevante de fibra y minerales, entre los que sobresalen el magnesio y el fósforo.

La quinua destaca por su perfil nutricional, ya que aporta proteínas de alta calidad, aminoácidos esenciales, fibra dietética, minerales y una variedad de sustancias bioactivas beneficiosas. Además, las variedades roja y negra poseen características compositivas únicas que permiten crear alimentos innovadores.

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 Pregunta general

- ¿Cuáles serán las mejores condiciones de humedad, temperatura y rpm en el proceso de extrusión, así como de la incorporación de harinas de fenogreco, quinua negra y quinua roja, sobre la aceptabilidad sensorial, la caracterización nutricional y la microestructura del extruido?

1.2.2 Preguntas específicas

- ¿Cuáles serán las mejores condiciones de humedad, temperatura y rpm en el proceso de extrusión?
- ¿Cuáles serán los efectos de las harinas de fenogreco, quinua negra y quinua roja en la aceptabilidad sensorial del extruido nutritivo?
- ¿Cuáles serán las características nutricionales y microestructurales de los extruidos nutritivos con mayor aceptabilidad?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

- Determinar las mejores condiciones de humedad, temperatura y rpm en el proceso de extrusión, y el efecto de la harina de fenogreco, quinua negra y quinua roja en la aceptabilidad sensorial, caracterización nutricional y microestructural.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las mejores condiciones de humedad, temperatura y rpm en el proceso de extrusión.

- Evaluar el efecto de harina de fenogreco, quinua negra y quinua roja en la aceptabilidad sensorial de los extruidos nutritivos.
- Analizar la caracterización nutricional y microestructura de los extruidos nutritivos con mayor aceptabilidad sensorial.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La problemática alimentaria presente en poblaciones vulnerables de la región de Puno resalta la importancia de investigar alternativas alimentarias elaboradas a partir de materias primas de interés nutricional. En este sentido, se optó por la extrusión como proceso tecnológico, debido a su capacidad para modificar sus características físicas, funcionales y nutricionales de las materias primas. Según Kuktaite et al. (2022), la extrusión de productos a base de quinua puede modificar sus características funcionales y favorecer la digestibilidad de las proteínas.

Asimismo, las semillas de fenogreco presentan contenidos importantes de proteínas, aminoácidos, fibra dietaria y micronutrientes (Hina et al., 2025). Además, diferentes métodos de procesamiento, como el remojo, la germinación y el tostado, han demostrado efectos favorables sobre la digestibilidad de algunos componentes y la actividad antioxidante del fenogreco (Pandey H, 2015). Por ello, la investigación buscó evaluar los contenidos de macronutrientes y micronutrientes, así como determinar las condiciones de humedad, temperatura y velocidad de tornillo para el proceso de extrusión.

El empleo de quinua roja y quinua negra, consideradas materias primas de interés en la región, contribuye al aprovechamiento de los recursos agrícolas disponibles. Además, esta investigación busca generar información tecnológica que pueda servir como base de productos extruidos elaborados a partir de estas materias primas, con características nutricionales de interés.

El diseño experimental Box–Behnken empleado en el proceso de extrusión constituye un aporte metodológico, debido a que permite analizar de manera sistemática el efecto de las variables del proceso, así como la interacción entre ellas, sobre las respuestas evaluadas. Asimismo, el diseño factorial aplicado a las formulaciones permitió evaluar el efecto de diferentes proporciones de fenogreco, quinua roja y quinua negra sobre la aceptabilidad sensorial.

Finalmente, la microscopía electrónica de barrido (SEM) se empleó para analizar la microestructura de los extruidos, considerando características como el tamaño, la forma y la

porosidad observados en las muestras. La estructura porosa generada durante la extrusión está relacionada con características físicas como la expansión y la textura del producto. Guy (2001), señala que la formación de una estructura celular expandida se relaciona con la gelatinización del almidón y la liberación de vapor durante el proceso.

En conjunto, esta investigación permitirá obtener información sobre el comportamiento de las harinas de fenogreco, quinua roja y quinua negra durante la extrusión, considerando el efecto de la humedad, la temperatura y la velocidad de rotación del tornillo sobre las características físicas, sensoriales, nutricionales y microestructurales del producto. Los resultados obtenidos podrán constituir una referencia para futuros estudios relacionados con el desarrollo y las mejores condiciones para extruidos elaborados a partir de materias primas con potencial nutricional.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Según Ribeiro et al. (2024), la investigación realizada el objetivo fue evaluar el efecto de la velocidad del tornillo y la temperatura en la extrusión de alta humedad sobre las propiedades de extruidos de soja. Se utilizó una mezcla de aislado y concentrado de proteína de soja (1:9), procesada a 300–400 rpm y 120–140 °C en condiciones de alta humedad, evaluándose la textura, color, estructura proteica y contenido de inhibidores de tripsina. Los resultados mostraron que temperaturas más altas generaron extruidos más blandos, oscuros y con mayor anisotropía, mientras que el aumento de la velocidad produjo productos más blandos y claros. Además, se observó una modificación estructural de las proteínas y una reducción superior al 90% de inhibidores de tripsina. Se concluye que los parámetros de extrusión en condiciones de alta humedad influyen en la calidad textural y nutricional del producto.

Muñoz et al. (2022), En su investigación, los autores tuvieron como objetivo desarrollar snacks sin gluten a escala piloto utilizando harina de quinoa como materia prima. Para su elaboración emplearon una extrusora industrial de doble tornillo (CY65-II TWN SCREW EXTRUDER, Qingdao, China). Previamente, la harina fue acondicionada con un contenido de humedad del 18 % mediante la incorporación de agua. Se realizó empleando una temperatura de 75, 105 y 135 °C, con una velocidad de rotación del tornillo entre 251 y 253 rpm y tres boquillas de 2,6 mm de diámetro. El contenido de humedad registrado en las mezclas antes de la extrusión, después de la extrusión y luego del horneado fue de 7,7 %, 7,1 % y 2,2 %, respectivamente. Asimismo, se determinó la composición proximal, considerando proteínas, lípidos, fibra dietética, cenizas y humedad, mediante los métodos establecidos por la AOAC (1998). En los snacks extruidos y horneados se obtuvo una composición de 13,7 % de proteínas, 3,3 % de lípidos, 9,9 % de fibra, 3,1 % de cenizas y 78,9 % de carbohidratos. Finalmente, los autores concluyeron que tanto la

extrusión como el posterior horneado favorecieron el incremento de la digestibilidad de las proteínas.

Santacruz (2014), realizó el estudio el extruidos con mayor contenido proteico y en bioactivos, se incorporó tarwi desamargado integral y nuez de pecana molida. El objetivo fue estudiar el efecto de la incorporación de harina de tarwi y pecana, además de evaluar la humedad (13, 15 y 17 %) y de la velocidad de extrusión (324, 360 y 396 rpm), con la finalidad de obtener productos extruidos con características nutritivas y saludables. El proceso se desarrolló mediante un sistema de cocción por extrusión de doble tornillo. Los resultados obtenidos mostraron valores de índice de absorción de agua (IAA) entre 4,64 y 5,27, mientras que el índice de solubilidad en agua (ISA) presentó valores de 12,99 a 21,06. Estos resultados fueron significativamente inferiores a los obtenidos en el tratamiento control ($p < 0,05$), lo que se relacionó con una menor degradación del almidón y, posiblemente, con una menor digestibilidad del mismo. Finalmente, se concluyó que los productos extruidos presentaron una buena expansión, evidenciando su potencial para ser desarrollados como prototipos comerciales con características nutritivas y saludables.

Shirani & Ganesharanee (2009), estudio evaluó los efectos de la inclusión de harina de fenogreco y polisacárido desamargado en las características físicas, sensoriales y el índice glucémico (IG) *in vitro* de un snack extruido a base de garbanzo y arroz (proporción 70:30), con el objetivo de determinar su idoneidad tecnológica y nutricional. Mediante una metodología experimental, se sustituyó la mezcla control por harina de fenogreco (2%, 5% y 10%) o por el polisacárido (5%, 10%, 15% y 20%) bajo condiciones óptimas de extrusión, analizando posteriormente su expansión, dureza, retención de humedad, Índices de Solubilidad (ISA) y Absorción de Agua (IAA), junto con pruebas de aceptabilidad sensorial. Los resultados demostraron que la harina de fenogreco en dosis mayores al 2% fue rechazada por su sabor amargo; sin embargo, el polisacárido desamargado fue sensorialmente aceptable hasta en un 15%, provocando además un aumento en el IAA, una disminución del ISA y una ligera reducción en la expansión radial, junto con una disminución efectiva del índice glucémico. En conclusión, se demostró que el polisacárido de fenogreco desamargado puede incorporarse exitosamente hasta en un 15% en la matriz de garbanzo y arroz para desarrollar un aperitivo saludable con propiedades físicas, sensoriales y funcionales óptimas.

Richter (2022), desarrollo diez nuevas líneas de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), donde se analizó las características de extrusión de las harinas de semillas, utilizando una extrusora de doble tornillo, se trabajó con dos temperaturas (110 °C y 125 °C), tres velocidades de tornillo (200, 350 y 500 rpm) y un contenido de humedad del 18 % (peso en grama). La relación de expansión (RE) osciló entre 1,15 y 2,33 afecto negativamente la grasa de las harinas. La línea de mejoramiento mostró el mayor potencial para su uso en alimentos de expansión.

Carrasco et al. (2011), desarrollaron un snack nutritivo a base de quinua y maíz, con el objetivo de obtener una alternativa más saludable frente a los snacks tradicionales. En su investigación, los autores evaluaron tres variedades de quinua y determinaron que todas presentaban contenidos elevados de proteínas, fibra dietética y compuestos fenólicos, además de una importante capacidad antioxidante. Entre las variedades analizadas, la quinua Chullpi mostró un mejor comportamiento frente al proceso de extrusión. Asimismo, la formulación que presentó mejores resultados estuvo constituida por 70 % de quinua y 30 % de maíz, obteniéndose un producto con características nutricionales y tecnológicas favorables.

Manosalvas et al. (2019), indican que para la extrusión se analizaron los siguientes parámetros: la temperatura del barril (110-140°C), el contenido de humedad (15-20%) y la matriz alimentaria: maíz (*Zea mays*), chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*) y papa (*Solanum tuberosum*) en proporciones de 80/10/10 y 70/15/15. La matriz con una proporción de humedad de 70/15/15 a 15% y extruida a 110°C presentó humedad de 6.06%, proteína de 18.69%, grasa de 2.01%, fibra de 2.28%, cenizas de 1.00% y carbohidratos de 72.24%. En contraste, el tratamiento control con 100% maíz mostró valores de humedad de 5.13%, proteína de 8.32%, grasa de 0.54%, fibra de 0.55%, cenizas de 0.57% y carbohidratos de 85.44%.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Quinua INIA 415 – Roja Pasankalla

La *Chenopodium quinoa Willd*, específicamente la variedad INIA 415, destaca como un cultivo propio de la región andina peruana que sobresale por su valor nutracéutico. Este grano destaca por su notable aporte proteico, el cual oscila entre el 12% y el 20%, además de poseer una importante concentración de micronutrientes esenciales como vitaminas, fósforo, calcio y hierro (INIA, 2006).

2.2.2 Quinua INIA 420 – Negra Collana

Es un superalimento andino de gran relevancia para la en la industria alimentaria, la variedad de quinua INIA 420 – Negra Collana (*Chenopodium quinoa Willd.*) supera los perfiles nutricionales de los granos tradicionales. Asimismo, la investigación científica actual valida con frecuencia su incorporación en matrices alimentarias como sustituto parcial con un aporte proteico que ronda el 14% al 17% (Chatain et al., 2019).

2.2.3 Taxonomía de la quinua

Tabla 1

Taxonomía de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.)

Taxonomía de la quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd.</i>)	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Genero	Chenopodium
Especie	Chenopodium quinoa Willd.

FUENTE: (Arone Espinoza, 2016).

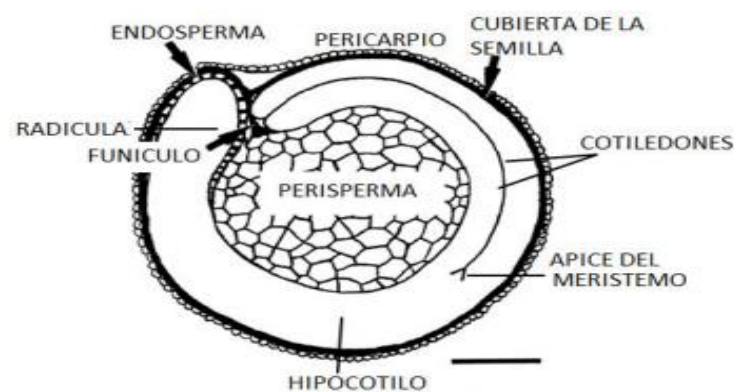


Figura 1 Estructura interna del grano de quinua en sección longitudinal central.

FUENTE: Tomado de (Prego et al., 1998).

La quinua presenta diversas estructuras de importancia nutricional, entre ellas el grano, pericarpio, endospermo y germen. El grano destaca por su contenido de proteínas de buena calidad, fibra dietética, almidón, lípidos insaturados y compuestos de alto valor nutricional (FAO, 2026).

2.2.4 Efecto de la quinua en la salud humana

La quinua se caracteriza por presentar una composición nutricional variada, debido a su aporte de proteínas, grasas saludables, fibra, vitaminas, minerales y aminoácidos esenciales, se sugiere consumir una porción diaria aproximada de 40 g, dado que sus componentes con actividad biológica favorecen el bienestar general y ayudan a disminuir el riesgo de enfermedades (Vilcacundo & Hernández, 2017).

2.2.5 Perfil nutricional de la Harina de Quinua

Tabla 2

Análisis proximal de 100gr. de harina de Quinua.

Elemento	Unidad	Valor
Calorías	kcal	341
Agua	g	13.7
Proteínas	g	9.1
Grasas	g	2.6
Carbohidratos	g	72.1
Fibra	g	3.1
Ceniza	g	2.5
Calcio	Mg	181
Fósforo	Mg	61
Hierro	Mg	3.7
Retinol	µg	0
Vitamina B1 (Tiamina)	Mg	0.19
Vitamina B2(Riboflamina)	Mg	0.24
Vitamina BS(Niacina)	Mg	0.68
Ácido Ascórbico reduc.	Mg	-

FUENTE: (Cervera, 1983).

2.2.6 Fenogreco

Es una hierba con flores blancas y semillas duras, de color marrón amarillento y angulares, es una hierba anual conocida desde la antigüedad por su valor nutricional y sus efectos medicinales. Las semillas de fenogreco contienen una gran cantidad de contenido volátil, fibra, alcaloides, flavonoides, saponina y goma por su gran contenido de fibra (Khorshidian, 2016). Se caracteriza por presentar un crecimiento rápido y propagarse mediante semillas, las cuales son sembradas directamente en el suelo, generalmente en surcos. Bajo condiciones de plena exposición solar, la germinación se produce entre los 4 y 10 días posteriores a la siembra. La floración se presenta aproximadamente entre los 30 y 37 días, mientras que las vainas alcanzan su madurez entre los 60 y 90 días. Puede ser atacada por pudrición de raíz, diversos mohos y otras plagas (Koehler, 1887).



Figura 2 Planta y semillas de Fenogreco (*Trigonella foenum-graecum* L.).

FUENTE: (Manuel & Valdéz, 2011).

Tabla 3

Taxonomía del fenogreco (Trigonella foenum-graecum L.).

<i>Categoría taxonómica</i>	<i>Clasificación</i>
Orden	<i>Fables (Leguminales)</i>
Familia	<i>Fabaceae (Leguminosae)</i>
Subfamilia	<i>Faboideae (Papilionaceae)</i>
Tribu	<i>Trifolieae</i>
Subtribu	<i>Trigonelinae</i>
Género	<i>Trigonella</i>
Especie	<i>Trigonella Foenum-Graecum</i> Linn.

FUENTE: (Ananda, 2022).

2.2.7 Análisis proximal de fenogreco

Tabla 4

Análisis proximal de 100g de semilla de fenogreco

Componente	Valor
Calorías	323 kcal
Humedad	8.8 g
Proteínas	23.0 g
Grasa	6.4 g
Fibra	10.1 g
Carbohidratos totales	58.4 g
Cenizas	3.4 g
Calcio	176 mg
Fósforo	296 mg
Hierro	33.5 mg
Sodio	67 mg
Potasio	770 mg
Vitamina A	1,040 UI
Tiamina	0.32 mg
Riboflavina	0.37 mg
B2	0.36 mg
Ácido ascórbico	3-12 mg
Niacina	1.64 mg

FUENTE: (Manuel & Valdéz, 2011).

2.2.8 Compuesto aromático del fenogreco

El fenogreco es reconocido por poseer un aroma excepcionalmente fuerte, penetrante y persistente, debido principalmente a la bajísima concentración umbral de la sotolona. Esta intensidad es tal que el aroma puede dominar fácilmente el perfil sensorial de una mezcla si no se dosifica con precisión (Khorshidian, 2016).

2.2.9 Snacks

Son productos que se obtienen de la gelatinización del almidón a través del proceso de expansión o inflado, estos productos son altos en el contenido de carbohidratos. Los snacks son una alternativa de solución alimentaria, porque se puede usar variedad de materias primas, de manera individual o mezcla, permitiendo que su adaptación tecnológica sea rápida (Fernández, 2014).

2.2.10 Clasificación

Los snacks tienen diferentes clasificaciones a lo largo del tiempo y no existe una clasificación formal, según el proceso de fabricación, la materia prima, sabor y calidad nutricional (Espinoza et al., 2021).

- a) **Snacks fritos:** Son productos obtenidos mediante la fritura directa de materias primas, a los cuales pueden incorporarse ingredientes como saborizantes, colorantes, sal, azúcar u otros aditivos, según las características deseadas del producto.
- b) **Snacks extruidos:** Son productos elaborados mediante un proceso de extrusión de mezclas de harinas. La materia prima es sometida a condiciones de temperatura, humedad y presión.
- c) **Snacks confituras:** Son productos que pueden obtenerse mediante procesos de deshidratación, con el propósito de reducir su contenido de humedad y favorecer su conservación (Espinoza et al., 2021).

2.2.11 La extrusión

La extrusión es un proceso de cocción, que se lleva a cabo a altas temperaturas (150° C a 200 °C) en tiempos cortos, al tener este tipo de procesos se protege el sabor y los nutrientes de los alimentos, además que se inactivan de enzimas y microorganismos patógenos, al mismo tiempo que los factores anti nutricionales termolábiles son eliminados, razón por la cual es ampliamente utilizado en la industria alimentario (Lopez, 2011). El principio de cocción permite que funcione a temperaturas altas y en un corto período de tiempo (Sharmila & Athmaselvi, 2017).

2.2.12 Extrusor

El extrusor es una máquina de procesamiento continuo empleado en la industria alimentaria, que consta de un mecanismo de tornillo giratorio dentro de un cilindro o barril. Este cual posibilita el transporte, la mezcla, la compresión y la modificación de los ingredientes en condiciones

controladas de temperatura, presión y cizallamiento. Al final, el material es empujado a través de una matriz o dado para lograr un producto con una forma y textura específica (Kehinde, 2016).

2.2.13 Tipo de extrusores

Existe una amplia variedad de máquinas extrusoras, cada una de ellas se caracteriza por su diseño o su sofisticada manera de operación, de las cuales para la industria alimentaria pueden destacarse los del doble tornillo y los monotornillos también llamados de bajo costo (Paucar, 2022).

2.2.14 Extrusores monotornillos

Este equipo funciona mediante un mecanismo de transporte y fricción. Durante el proceso, las harinas o sémolas ingresadas al canal son desplazadas hacia la salida por acción del tornillo, donde son sometidas a diferentes condiciones de procesamiento hasta obtener el producto extruido. Los extrusores monotornillos ofrecen ventajas como menor costo operativo, de mantenimiento y de inversión (Paredes et al., 2023).

2.2.15 Extrusora doble tornillo

Este tipo de equipo está constituido por dos tornillos que giran de manera sincronizada en el interior del barril, permitiendo transportar y procesar la materia prima durante la extrusión. También, estas extrusoras funcionan a altas velocidades y ofrecen mejores mezclas de las harinas, el sistema se transfiere de un tornillo a otro (Paucar, 2022).

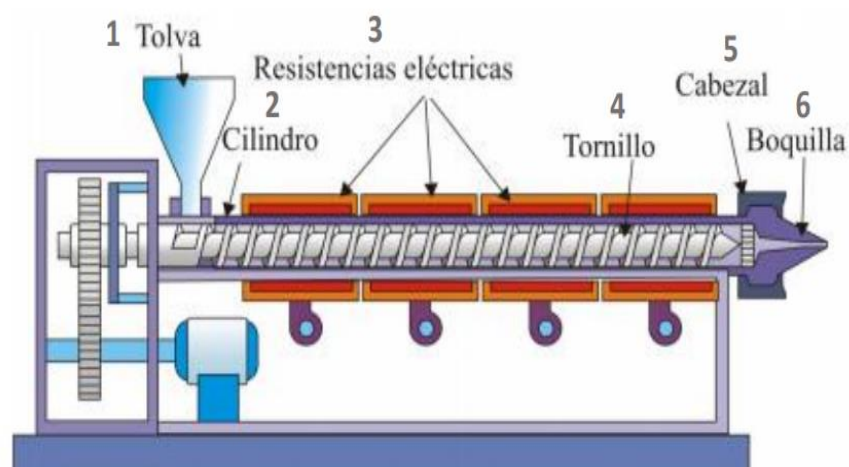


Figura 3 Partes de una extrusora.

FUENTE:(Molina, 2016)

1. **Tolva de alimentación:** su función es que la entrada de la materia prima sea de manera uniforme.
2. **Cilindro:** Es la estructura que recubre al tornillo en su interior y puede presentar una superficie lisa, acanalada o rugosa.
3. **Resistencias eléctricas:** Son elementos encargados de controlar la temperatura requerida durante el proceso de extrusión.
4. **Tornillo o husillo:** Es un componente fundamental de la extrusora, cuya función consiste en transportar, mezclar, calentar y cocinar o fundir el material.
5. **Cabezal:** Es la sección de la extrusora encargada de sostener la boquilla para permitir la salida del material (Molina, 2016).

2.2.16 Efectos de la extrusión

- a) **La gelatinización:** Es un fenómeno hidrotérmico que se produce cuando los gránulos de almidón son sometidos a temperaturas elevadas en presencia de agua. Este fenómeno se produce por la incorporación y captura de moléculas de agua dentro del granulo, a través de enlaces de puentes de hidrógeno, lo que provoca que el granulo se hinche y aumente la viscosidad de la solución (Bravo & Ortega, 2017).
- b) **Efecto en las propiedades funcionales del extruido:** Durante la cocción por extrusión, la materia prima experimenta diversas transformaciones de carácter estructural y químico como consecuencia de las condiciones de procesamiento que incluye la desnaturalización de proteínas, gelatinización del almidón, degradación de vitaminas y cambio de pigmentación. Esto debido a la manipulación de variables (velocidad del tornillo, diseño del molde, humedad y temperatura) esto produce cambios, por lo tanto, afecta las propiedades fisicoquímicas y su funcionalidad (Creswell, 1994).

Tabla 5

Principales variables que influyen en el proceso de extrusión.

Variables más importantes que intervienen en el proceso de extrusión	
Variable independiente	Humedad
	Tipo de composición del material
	Intercambio de calor
	Temperatura
	Grado de alimentación
	Revoluciones por minuto
Variable independientes de diseño	Geometría
	Cilindro
	Tornillo
	Boquilla
	Presión
	Temperatura
Respuestas	Caudal másico
	Energía mecánica
	Distribución de tiempo de residencia
	Propiedades del producto

FUENTE: (Fernández, 2014).

2.2.17 Parámetros de extrusión humedad, temperatura y rpm.

a) Humedad: En la extrusión, el nivel de humedad que se utiliza generalmente es inferior al que se usa en procedimientos como la cocción o el horneado de masas. Generalmente, los niveles de humedad se encuentran entre 10 y 20 %; sin embargo, aun con estos valores relativamente bajos, la materia prima puede adquirir un comportamiento fluido dentro de la extrusora. Bajo estos niveles las características físicas como el tamaño de partícula, dureza y el grado de plastificación alcanzado durante el proceso llegan a ser determinantes para llegar a la materia final (Meza, 2013).

b) Temperatura: La temperatura de operación varía entre 99 y 200 °C, en función de las propiedades del extrusor. Además, en extrusoras con capacidades de alimentación más reducidas, la temperatura del producto está vinculada directamente con las condiciones operativas del equipo.

Por otra parte, los extrusores de alta capacidad pueden funcionar en sentido inverso, dado que el calentamiento de la pared disminuye la viscosidad del material, el esfuerzo cortante y la capacidad de bombeo del tornillo. Además, la conducción térmica al interior del material es escasa debido a que existe flujo laminar (Puma, 2019).

- c) **Velocidad de extrusión:** Se refiere a la velocidad con la que trabaja el tornillo de la extrusora, esto expresado en cantidad de revoluciones que realiza por minuto, mientras haya mayor fricción en el material y el tornillo, incrementa la temperatura del polímero, facilitando su fusión y mezcla. Si se aplica más rpm pueden degradar el material y generar defectos (Clavero, 2007).

2.2.18 Ventajas de la extrusión en la industria alimentaria

Algunas de las principales ventajas del proceso de extrusión en la producción de alimentos son las siguientes:

- Mejora o modifica de las propiedades funcionales.
- Ayuda a la formación de complejos lipídicos y carbohidratos, que mejoran la textura y las características sensoriales del producto obtenido (Atalaya, 2024).

2.2.19 Aceptabilidad Sensorial del Alimento Aspectos Sensoriales

a) **Textura:** Se puede valorar en función de la fuerza que se necesita para romperlo. El análisis de la fuerza máxima medida por el analizador de textura se utiliza como indicador de la dureza del alimento en este estudio. La textura se ve alterada por la inclusión de cualquier tipo de subproducto alimentario. (Carvajal, 2018).

b) **Sabor:** La temperatura empleada, es posible evitar la formación de sabores propios de la cocción. En determinados productos, los sabores pueden generarse mediante reacciones de Maillard, mientras que algunos sabores añadidos pueden volatilizarse cuando el alimento sale del extrusor. Por lo tanto, los sabores se aplican con mayor frecuencia en forma de emulsiones rociadas a la superficie de los snacks después de la extrusión (Basilio, 2020).

c) **Color:** El color de los alimentos extruidos se debe a los pigmentos sintéticos incorporados a la materia prima, los cuales pueden presentarse en forma de polvos hidrosolubles o liposolubles,

emulsiones o lacas. La decoloración del producto es debido a la expansión, a un tratamiento térmico excesivo (Galarza & Cairo, 2013).

d) Apariencia: Permite obtener un producto con apariencia uniforme (Lopez, 2011).

e) Dureza: La fuerza que se necesita para romper un producto puede determinar su textura. Para determinar la dureza del producto, se tiene en cuenta la máxima fuerza registrada por un analizador de textura. Además, la inclusión de subproductos alimentarios puede cambiar las propiedades de textura de los productos extruidos (Carvajal, 2018).

2.2.20 Sentido del gusto

Se encuentran en las papilas gustativas, que están situadas tanto en la parte frontal del paladar blando como en la superficie de la lengua; esta última es rugosa a causa de ellas. Dentro de estas papilas gustativas se encuentran los receptores, también llamados sacos gustativos o papilas. Para que los sabores sean percibidos, las sustancias deben disolverse en saliva o agua y la lengua debe estar húmeda (Porrás, 2023).

a) Acido: El sabor ácido es uno de los sabores básicos que los botones gustativos, situados en ambos lados de la cara superior de la lengua, detectan. Los sensores de estas papilas gustativas detectan el sabor a través de canales iónicos que se activan cuando hay agua. El cerebro entiende el sabor ácido como una señal de alerta porque muchos venenos y sustancias dañinas tienen un sabor ácido (Vera, 2008).

b) Amargo: El sabor amargo está relacionado con compuestos como la quinina y la cafeína, que son sustancias conocidas por su fuerte sabor amargo (Miranda, 2011).

c) Salado: El sabor salado se percibe en los bordes anteriores y posteriores de la lengua, donde los receptores se activan por las sales ionizadas o por los iones de hidrógeno presentes en las sustancias ácidas (Suganda et al., 2018).

d) Dulce: El sabor dulce y salado se localiza principalmente en la punta de la lengua, mientras que el sabor ácido se percibe a ambos lados de la misma (Flores, 2015).

e) Umami: El sabor umami está asociado con el ácido glutámico, un aminoácido no esencial que se encuentra en las proteínas del cuerpo humano y en diferentes alimentos, en forma de sal sódica.

Esta sensación es diferente de los otros sabores básicos: dulce, salado, ácido y amargo (Farjardo, 2014).

2.2.21 Índice de expansión

El volumen específico y el nivel de gelatinización están directamente relacionados con el índice de expansión, cuyos resultados dependen de la temperatura.

$$IE = \frac{Dex}{Dbex}$$

Donde:

Dex: Diámetro del extruido dato variable.

Dbex: Diámetro del orificio de salida del extrusor (Laureano, 2018)

2.2.22 Índice de Solubilidad de Agua (ISA)

Indica el grado de dextrinización, ya que un mayor ISA significa que el producto se disuelve más fácilmente en agua. Esta propiedad es útil para obtener alimentos crujientes, mientras que la gelatinización favorece la retención de agua sin que el producto se vuelva demasiado pegajoso (Huamani et al., 2020).

2.2.23 Índice de absorción de agua (IAA)

El índice de absorción de agua (IAA) es un indicador que permite determinar la cantidad de agua que el producto puede absorber y retener. Se expresa como:

$$IAA = \frac{g \text{ de agua absorbida}}{g \text{ de muestra seca}}$$

Un mayor IAA indica que la muestra es más porosa, mientras que un menor IAA es la muestra más compacta y con menor absorción de agua (Ding et l., 2006).

2.2.24 Nutrientes

Los nutrientes son sustancias que nuestro organismo necesita, los descompone, transforma y utiliza para obtener energía y materia para las células y pueda realizar correctamente sus funciones (FAO, 2026).

2.2.25 Valor diario

El valor diario (%DV) señala el porcentaje de una porción alimentaria que aporta un nutriente a su dieta diaria. El %DV ayuda a establecer si una porción de alimento tiene un contenido alto o bajo de un nutriente específico. Los Valores Diarios son cantidades de referencia (en miligramos, microgramos o gramos) de nutrientes que se deben consumir o no sobrepasar cada día. (Food and Drug Administration, 2023).

Tabla 6

Referencia del valor nutricional diario

Nutriente	Valor Diario Actual
Ácido pantoténico	5 mg
Azúcares	50 g
Biotina	30 µg
Calcio	1300 mg
Carbohidratos totales	275 g
Cloruro	2300 mg
Cobre	0.9 mg
Colesterol	300 mg
Colina	550 mg
Cromo	35 µg
Fibra	28 g
Folato/Ácido Fólico	400 µg DFE
Fósforo	1250 mg
Grasa	78 g
Grasas saturadas	20 g
Hierro	18 mg
Magnesio	420 mg
Manganeso	2.3 mg
Molibdeno	45 mcg
Niacina	16 mg NE
Potasio	4700 mg

«continuación»

Proteína	50 g
Riboflavina	1.3 mg
Selenio	55 µg
Sodio	2300 mg
Tiamina	1.2 mg
Vitamina A	900 µg RAE
Vitamina B12	2.4 µg
Vitamina B6	1.7 mg
Vitamina C	90 mg
Vitamina D	20 µg
Vitamina E	15 mg alfa-tocoferol
Vitamina K	120 mcg
Yodo	150 mcg
Zinc	11 mg

FUENTE: (Food and Drug Administration, 2023).

2.2.26 Macronutrientes

Los macronutrientes son nutrientes que el organismo requiere en cantidades relativamente elevadas y que son sometidos a procesos de digestión (Medical, 2018).

a) Carbohidratos: Los carbohidratos, también llamados azúcares o hidratos de carbono, son la principal fuente de energía para el organismo y se encuentran en alimentos como frutas, verduras, legumbres, frutos secos y leche (Rojas & Vergara, 2022). Durante la extrusión, los carbohidratos, especialmente el almidón, sufren cambios como la gelatinización, lo que mejora su digestibilidad y contribuye a obtener productos con mejores características nutricionales y sensoriales (Paucar, 2022).

b) Grasas: Durante la extrusión, la grasa funciona como un lubricante; disminuye el roce y la energía necesaria para llevar a cabo el procedimiento. No obstante, dado que un contenido elevado de grasa disminuye la expansión del extruido, aumenta la densidad y puede tener un impacto en su estructura y resistencia, es importante regular su concentración (Carvajal, 2018).

c) Humedad: La humedad es un factor importante durante la extrusión, debido a que el agua presente en la harina se evapora rápidamente cuando el producto sale del extrusor. Esta evaporación genera vapor, provocando la expansión del producto y la formación de una estructura porosa (Huamani, 2019).

d) Proteínas: Las proteínas son nutrientes esenciales para el organismo, ya que están formadas por aminoácidos necesarios para el crecimiento, la reparación de tejidos y diversas funciones que el cuerpo no puede realizar sin obtenerlos a través de la alimentación (Murillo, 2020).

2.2.27 Micronutrientes

Los micronutrientes son elementos que el cuerpo requiere en cantidades mucho más pequeñas y que son absorbidos directamente. Esto incluye minerales y vitaminas. (Medical, 2018).

a) Vitamina A: La vitamina A y sus precursores, como los carotenoides, son sensibles al calor, al oxígeno y a la fricción generada durante la extrusión, por lo que pueden sufrir pérdidas importantes. Sin embargo, su retención puede mejorar cuando se utilizan mayores contenidos de humedad, tiempos de procesamiento más cortos y altas velocidades de tornillo, reduciendo así su degradación y permitiendo conservar parte de su actividad biológica (Verona Ruiz, 2022).

b) Vitamina C: La vitamina C puede disminuir durante la extrusión debido a su sensibilidad al calor y la humedad, lo que afecta su estabilidad y conservación en el producto final (Valls, 1993).

2.2.28 Minerales

Los minerales son nutrientes estables que no se destruyen fácilmente por el calor, la luz, el aire o los procesos de almacenamiento, por lo que generalmente conservan sus propiedades nutricionales en los alimentos (Bressani, 2008).

a) Fósforo: El fósforo, presente en forma de fosfatos, puede integrarse en estructuras más accesibles del almidón modificado (Mironeasa et al., 2023).

b) El hierro y el magnesio: Pueden unirse a fracciones proteicas parcialmente desnaturalizadas, lo que no reduce su cantidad, pero sí puede modificar su solubilidad (Kamau et al., 2020).

2.2.29 Microscopia electrónica de barrido (SEM)

En los productos extruidos, la microscopía electrónica de barrido (SEM) permite evaluar la estructura superficial e interna del alimento, observando aspectos como la formación de poros, el tamaño de las celdas de aire y el grado de expansión obtenido durante el proceso de extrusión. La información obtenida mediante esta técnica es de gran importancia, ya que la microestructura del extruido guarda una estrecha relación con sus propiedades físicas y de calidad, tales como la textura, la dureza y el índice de expansión (Ryu & Walker, 1994).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Hipótesis general

- Las condiciones de humedad, temperatura y rpm influyen en el proceso de extrusión, y las harinas de fenogreco, quinua negra y quinua roja tendrán efecto en la aceptabilidad sensorial, caracterización nutricional y microestructura.

3.2 Hipótesis específica

- La humedad, temperatura y el rpm influyen significativamente en la determinación de las mejores condiciones de extrusión.
- Las harinas de fenogreco, quinua negra y quinua roja tendrán efecto en la aceptabilidad sensorial del extruido nutritivo.

3.3 Población

La población está conformada por todos los extruidos obtenidos a base de harina de quinua roja, quinua negra y fenogreco, elaborados bajo diferentes condiciones de extrusión temperatura, humedad y velocidad de tornillo (rpm)

3.4 Muestra

La muestra está constituida por los tratamientos evaluados para seleccionar la mejor condición de extrusión y, posteriormente, por las formulaciones bajo la mejor condición óptima, de las cuales se seleccionaron las dos mejores mediante análisis sensorial para su evaluación nutricional y microestructural.

Tabla 7*Operacionalización de las variables de estudio.*

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO				
VARIABLE INDEPENDIENTE				
CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍA	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICA E INSTRUMENTOS
Condiciones de extrusión	Parámetros del proceso	Humedad, Temperatura y rpm	Humedad 12% -17% Temperatura 130°C-150°C Revolución por minuto 300 – 400 rpm	
Mezclas de harinas	Formulación	Porcentaje de mezclas	Harina de Fenogreco (5 - 9) % Harina de Quinoa Roja (40 - 60) % Harina de Quinoa Negra (30 - 32)%	
VARIABLE DEPENDIENTE				
CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍA	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Características fisicoquímicas	Análisis	Humedad, color, textura, IAA, ISA y IE	Propiedad del extruido	Estufa Colorímetro (cielab) Texturometro
Aceptabilidad sensorial	Análisis	Color, Sabor y Preferencia global	Evaluación hedónica	Panel sensorial escala (1-5)
Caracterización nutricional	Análisis Bromatológico	Proteínas, Grasas, Carbohidratos, Humedad, cenizas; Fosforo, Hierro y Magnesio; Vitamina A y Vitamina C.	Composición proximal	INACAL AOAC
Microestructura	Análisis Microestructural	Tamaño y Forma de Poros	Estructura interna	Microscopia electrónica (SEM)

FUENTE: Elaboración propia.

3.5 Desarrollo experimental

Este trabajo se desarrolló en los laboratorios de extrusión de la Universidad Nacional de Santa (UNS) ubicado en el distrito de Nuevo Chimbote, Provincia de Santa, Departamento de Ancash.

El análisis fisicoquímico y pos cosecha se desarrollaron en la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ) en la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Facultad de Ingeniería de Procesos Industriales.

Los análisis Macronutrientes y Micronutrientes fueron analizados en SLAB PERÚ laboratorios acreditados por INACAL y Microscopia Electrónica de Barrido en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA).

3.6 Distribuciones geográficas

El fenogreco (*Trigonella foenum-graecum L.*) se adquirió para la presente investigación fue en el Departamento de Puno, Provincia de Sandia, Distrito de Sandia, Comunidad Campesina de Aricato.



Figura 4 Ubicación del lugar de obtención del fenogreco.

FUENTE: Google Earth, (2025).

Materia prima

- Fenogreco (*Trigonella foenum-graecum L.*).
- Harina de Quinoa negra (INIA 420 NEGRA COLLANA, adquirido del Instituto Nacional de Innovación Agraria).
- Harina de Quinoa roja (INIA 415 ROJA PASANKALLA, adquirido del Instituto Nacional de Innovación Agraria).

- Insumos

- Arrocillo
- Azúcar en polvo
- Agua

Equipos y materiales

- Equipos

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| • Extrusora de doble tornillo | marca: IMBRA, modelo LABOR PQ DRX-50 |
| • Estufa | marca: JPSELECTA |
| • Mufla | marca: PSELECTA |
| • Balanza analítica | marca: AND |
| • Texturometro | marca: INSTRON |
| • Baño María | marca: NAHITA |
| • Centrifugadora | marca: EPPENDORF |
| • Molino industrial | marca: INNOVA |
| • Higrómetro | marca: DELVER |
| • Microscopio electrónico de barrido | marca: THERMOSCEINTIFIC |
| • Cielab | marca: KONICA MINOLTA |

Materiales

- Probeta
- Vaso precipitado
- Placas Petri

- Tubo de ensayo de plástico
- Vernier metálico digital
- Pinza
- Pipeta
- Pera de succión
- Jarra de plástico de 1 litro
- Ficha de evaluación
- Balanza analítica
- Mortero
- Luna de reloj
- Bolsas polietilenos
- Crisol
- Piseta
- Gradilla
- Pinzas metálicas
- Lápiz
- Papel toalla
- Papel aluminio
- Mesa de trabajo

Reactivos

- Agua destilada
- Alcohol etílico

3.7 Metodología experimental de harina de fenogreco



Figura 5 Diagrama del proceso obtención de harina de fenogreco.

FUENTE: Elaboración propia.

Descripción de diagrama de flujo

Recepción: Se recepcionó y recaudo datos de la materia prima como la procedencia del fenogreco (*Trigonella foenum-graecum L.*) que se utilizó.

Selección: Se seleccionó las impurezas (madera, piedra, pajillas, terrones, etc.).

Pesado: Se realizó con una balanza electrónica para recaudar datos como el peso total del fenogreco que se utilizó.

Desamargado: Se le lavo las semillas en un recipiente durante 48 horas en agua continua.

Secado: se secó las leguminosas en una bandeja para que circule el aire dejándolo en un lugar sombreado y se removió cada poca hora hasta llegar 10 % de humedad.

Molienda: La molienda se realizó utilizando un molino de acero inoxidable hasta alcanzar la granulometría requerida.

Tamizado: Este proceso se realizó manualmente en una malla las partículas que aún no han logrado el micraje correspondiente es llevado de nuevo al molido.

Harina: Fue destinado para el extruido nutritivo.

3.8 Diseño experimental de harina de quinua

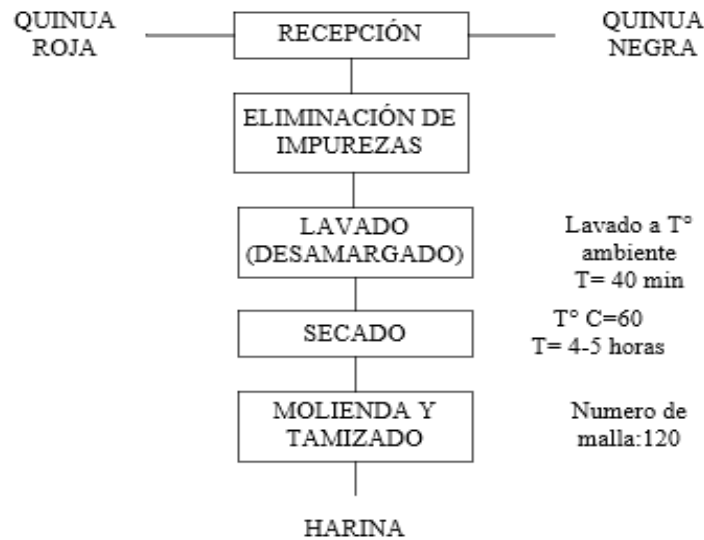


Figura 6 Diagrama del proceso obtención de harina de quinua roja y negra.

FUENTE: adaptado de (Pantoja et al., 2020).

Descripción del diagrama de flujo

Recepción: Se recepcionó la quinua negra (INIA 420 NEGRA COLLANA) y quinua roja (INIA 415 ROJA PASANKALLA) que se emplearon.

Eliminación de impurezas: Los granos de quinua fueron seleccionados manualmente para retirar aquellos contaminados, así como piedras, fragmentos y otros materiales extraños.

Lavado: Los granos de quinua fueron lavados con agua a temperatura ambiente durante aproximadamente 40 minutos. Este procedimiento se realizó varias veces con una determinada cantidad de granos y agua, empleando una proporción quinua de 1:2, hasta que no se produjera espuma.

Secado: El secado se realizó durante aproximadamente 4-5 horas a una temperatura de 60 °C, hasta alcanzar una humedad del 12 %, utilizando un secador de bandejas.

Molienda y tamizado: Con esta operación se uniformizaron las partículas de quinua para obtener la harina. Para el tamizado, se utilizó un tamiz de 2 mm.

Harina: Fue destinado como materia prima para el extruido nutritivo.

3.9 Diagrama experimental general



Figura 7 Diagrama experimental general

FUENTE: Elaboración propia.

Descripción del diagrama de flujo

Recepción: Se recepcionó Harina de quinua negra (INIA 420 NEGRA COLLANA), quinua roja (INIA 415 ROJA PASANKALLA) y Fenogreco.

Pesado: Se realizó utilizando una balanza analítica en esta etapa se determinó la cantidad exacta de las materias primas requeridas.

Mezclado: Se mezcló las harinas según las 8 formulaciones establecidas y según la formulación establecida, las harinas fueron colocadas en bolsas PE hermetizados y rotulados.

Extruido: las harinas fueron introducidos a la extrusora bajo las 17 diferentes condiciones de humedad, temperatura y rpm. Una vez elegido las mejores condiciones, se procedió a extruir las 8 formulaciones de harinas.

Análisis sensorial: Se realizó en el centro pre-universitario con un total de 50 panelistas, de las cuales se eligió a las dos muestras con mayor aceptabilidad. Las dos mejores muestras se les realizó el análisis de macronutrientes, micronutrientes y microestructural.

Tabla 8

Parámetros para la extrusión

Variable de operación	Valor establecido
Tasa de alimentación	25 kg/h
Velocidad de alimentación	300 – 400 rpm
Velocidad de tornillo	300 – 400 rpm
Velocidad de cuchilla	10 rpm
Diámetro de dado o boquilla	5 mm
Temperatura de extrusión	130 – 150°C
Humedad de extrusión	12 – 17 %

FUENTE: Elaboración Propia.

Se muestra los parámetros de extrusión donde la tasa de alimentación es constante de 25 kg/h, velocidad de cuchilla 10 rpm, diámetro de dado o boquilla 5mm. Las velocidades de alimentación y velocidad de tornillo son iguales.

3.9.1 Metodología por objetivo

Objetivo 1.

- Determinar las mejores condiciones de humedad, temperatura y rpm en el proceso de extrusión.

a) Variables

Variables independientes

- Humedad :(12% -17%)
- Temperatura: (130°C-150 °C)
- Revoluciones por minuto: (300-400) rpm

Variables dependientes

- (Textura, color, humedad, índice de solubilidad, índice de absorción e índice de expansión)

b) Diseño experimental

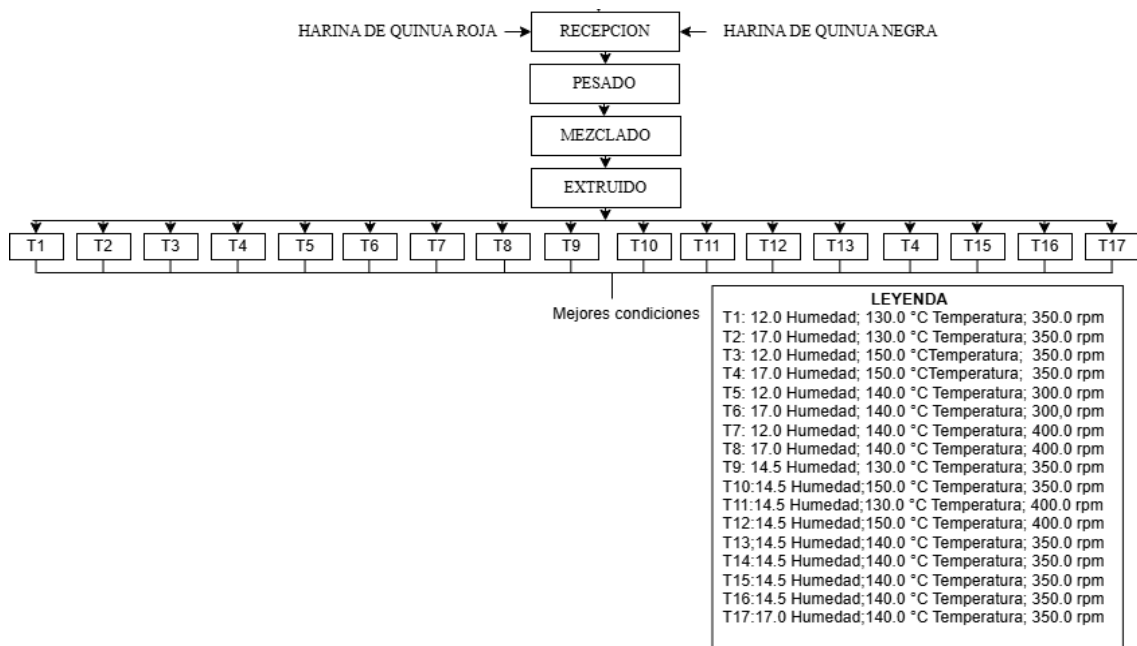


Figura 8 Diagrama de flujo objetivo 01

FUENTE: Elaboración propia.

C) Procedimiento

Recepción: Se recibió Harina de quinua negra (INIA 420 NEGRA COLLANA), quinua roja (INIA 415 ROJA PASANKALLA).

Pesado: Se pesó 50% y 50% de ambas harinas de quinua negra (INIA 420 NEGRA COLLANA), quinua roja (INIA 415 ROJA PASANKALLA).

Mezclado: Se mezcló las harinas hasta que tenga una mezcla uniforme.

Extruido: Las harinas fueron introducidos a la extrusora bajo las 17 diferentes condiciones de humedad, temperatura y rpm como se muestra en la Tabla 10. Luego se determinó las mejores condiciones de extrusión.

La optimización inicial mediante el diseño de Box Behnken se realizó sobre una matriz base constituida por 50% de harina de quinua roja y 50% de harina de quinua negra, sin la incorporación de la harina de fenogreco. Esta decisión responde al criterio de control experimental, debido a que el objetivo de esta etapa fue determinar el efecto de las variables de proceso: humedad, temperatura y rpm sobre la extrusión.

Una vez obtenidas las condiciones óptimas de proceso, estas se establecen como condiciones de referencia para la extrusión de las diferentes formulaciones de harina considerando la harina de fenogreco. La incorporación posterior del fenogreco permitió estudiar su efecto principalmente como componente de formulación, mientras que las condiciones de extrusión permanecieron controladas. Esto permitió separar experimentalmente el efecto de las variables de proceso del efecto de las variables de formulación, facilitando la interpretación de los resultados obtenidos en cada etapa.

D) Diseño estadístico

Se utilizó un diseño Box-Behnken con la metodología de superficie de respuesta para mejorar las condiciones de temperatura, humedad y RPM en la producción de alimento extruido nutritivo. Para cada factor, se tuvieron en cuenta tres niveles: el mínimo, el máximo y el intermedio, con cinco puntos centrales. Se obtuvieron 17 tratamientos, los cuales se basan en la combinación de factores.

El diseño de Box-Behnken es apropiado para un modelo de superficie de respuesta de segundo orden. Este modelo tiene la estructura de una ecuación cuadrática, que representa la conexión entre las variables dependientes y las independientes (rpm, humedad y temperatura) (Ovalles et al., 2002).

$$y = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ii} x_{ii}^2 + \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

Donde Y representa la variable respuesta, Xi corresponde a las variables independientes (humedad, temperatura y velocidad del tornillo); β_0 representa el intercepto, β_i los coeficientes lineales, β_{ii} los términos cuadráticos, β_{ij} los coeficientes de interacción y ε el error experimental.

Análisis estadístico

Se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA), utilizando un nivel de confianza del 95 % ($p < 0,05$) para determinar la existencia de diferencias significativas. Los análisis estadísticos se efectuaron con el software Design-Expert, versión 13.

Tabla 9

Variables para la extrusión.

Niveles	Humedad %	Temperatura °C	rpm
-1	12	130	300
0	14.5	140	350
1	17	150	400

Nota: Los valores -1, 0 y +1 representan los niveles de codificados bajo, central y alto, respectivamente, de los factores independientes considerados en el diseño experimental.

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 10

Tratamientos para las mejores condiciones según Box Behnken.

Tratamiento	Humedad	Temperatura	rpm
		(°C)	
T1	12	130	350
T2	17	130	350
T3	12	150	350
T4	17	150	350
T5	12	140	300
T6	17	140	300
T7	12	140	400
T8	17	140	400
T9	14.5	130	300
T10	14.5	150	300
T11	14.5	130	400
T12	14.5	150	400
T13	14.5	140	350
T14	14.5	140	350
T15	14.5	140	350
T16	14.5	140	350
T17	14.5	140	350

FUENTE: Elaboración propia.

3.10 Método de análisis

3.10.1 Textura

Se utilizó el analizador de textura Instron, que emplea una sonda en forma de V y una cuchilla Warner Bratzler; la prueba se llevó a cabo a una velocidad de 4 mm/s.

- Se colocó la muestra en la base del accesorio Warner Bratzler, con un espacio para que la cuchilla pasara.

- Se realizó el corte de manera perpendicular al eje principal de la extrusión hasta que se rompió por completo.
- El software registró los datos correspondientes al tiempo, la distancia y la fuerza.
- La dureza se determinó mediante la fuerza máxima necesaria para cortar completamente el extruido y la resistencia al corte se calculó dividiendo la dureza entre el área transversal promedio del material extruido (Basilio, 2020).

3.10.2 Color

Las muestras se analizaron mediante un colorímetro el que se colocará sobre la muestra, esperamos los resultados de L^* , a^* , b^* en la pantalla. Con los valores promedios se calculan las deltas de cada factor, para así poder calcular delta E, la cual nos indica la diferencia total del color de acuerdo con la ecuación (Talens, 2014).

$$\Delta L^* = L_m^* - L_{ref}^*$$

$$\Delta a^* = a_m^* - a_{ref}^*$$

$$\Delta b^* = b_m^* - b_{ref}^*$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

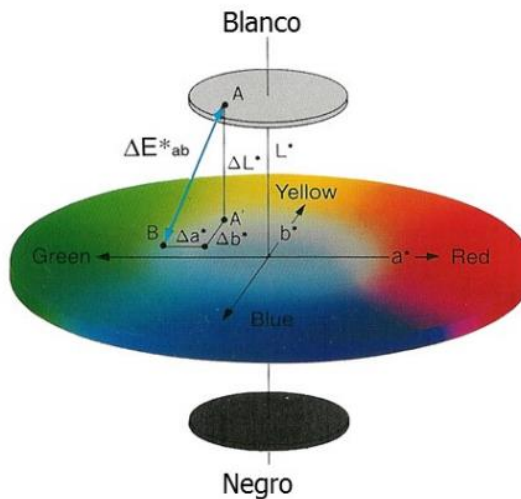


Figura 9 Estimación de la diferencia de color global en el espacio CIELAB.

FUENTE: (Talens, 2014).

3.10.3 Índice de solubilidad (ISA) e índice de absorción (IAA)

Se pesaron 2.5 g de la muestra y se añadieron 30 mL de agua destilada, que ya había sido pesada. La mezcla se mantuvo en un baño de agua a 30 °C durante media hora. Se extrajeron 10 mL de cada solución y se depositaron en tubos de polipropileno para centrifugarlos a 3000 rpm durante media hora. Cuando la centrifugación terminó, el sobrenadante fue extraído y llevado a platos de Petri que se habían secado y pesado con anterioridad. Por último, los platos se pusieron en un horno a 70 °C durante 12 horas para secar completamente. El IAA se evaluó a partir del peso de sedimentado y se expresa como g gel/g sólidos. El ISA se calculó con el peso de los sólidos seco (Cerón, 2016).

Ecuación para calcular IAA

$$IAA = \frac{Pr}{Pm}$$

Pr: peso de la muestra solida hidratada sin solvente.

Pm: peso de muestra inicial (2.5 g)

Ecuación para calcular ISA

$$ISA = \frac{Pss}{Pm} \times 100$$

Pss: peso de solidos solubles, seco en placa petri.

Pm: peso de la muestra inicial (2.5 g)

3.10.4 Índice de expansión

Para calcular el índice de expansión del extruido, se realizó mediante la una operación matemática de división; el diámetro del extruido y el diámetro de la maquina extrusora (Perez, 2006).

$$Ie = \frac{De}{Dm}$$

De: diámetro del extruido.

Dm: diámetro de la maquina extrusora.

Objetivo 2.

- Evaluar el efecto de harina de fenogreco, quinua negra y quinua roja en la aceptabilidad sensorial de los extruidos nutritivos.

a) Variables

Variables independientes

- Harina de fenogreco: (5 - 9) %
- Harina de quinua roja: (40 - 60) %
- Harina de quinua negra: (30 - 32) %

Variables dependientes

Aceptabilidad Sensorial

- Color
- Sabor
- Apariencia global

b) Diseño experimental

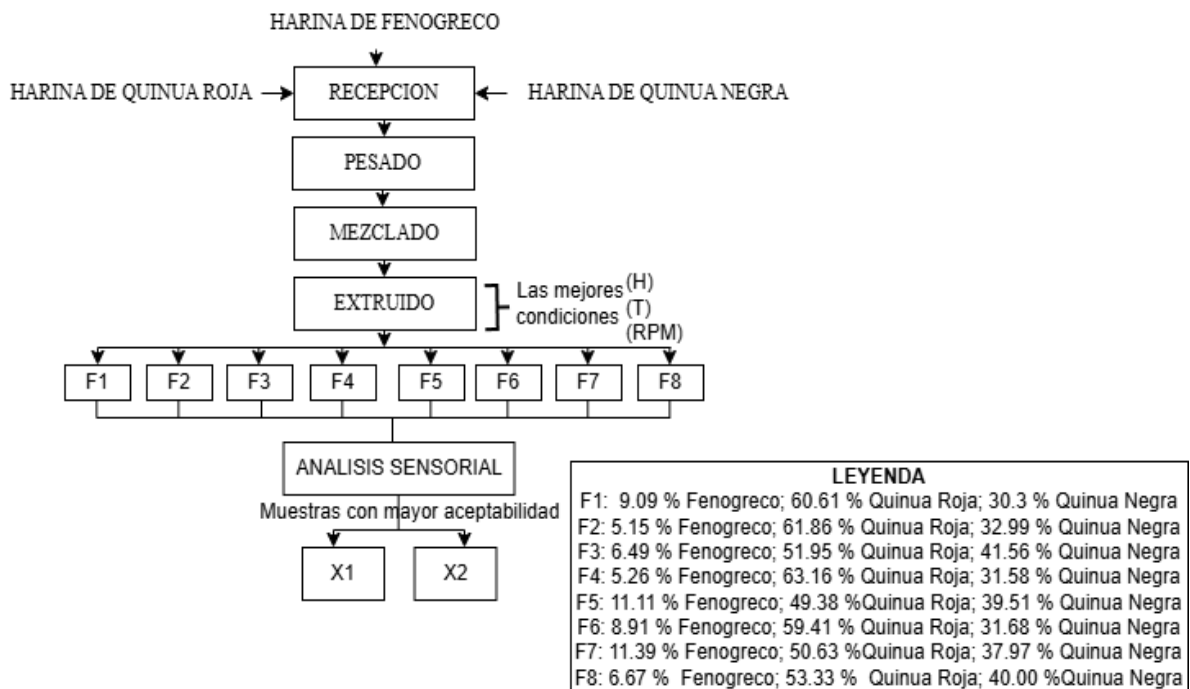


Figura 10 Diagrama experimental objetivo 02

FUENTE: Elaboración propia.

c) Procedimiento

Recepción: Se recepcionó Harina de quinua negra (INIA 420 NEGRA COLLANA), quinua roja (INIA 415 ROJA PASANKALLA) y fenogreco (*Trigonella Foenum – Graecum L.*).

Pesado: Se pesó de acuerdo a las formulaciones de la Tabla 11 las harinas de quinua negra (INIA 420 NEGRA COLLANA), quinua roja (INIA 415 ROJA PASANKALLA) y fenogreco (*Trigonella Foenum-Graecum L.*)

Mezclado: Se mezcló las harinas hasta que tenga una mezcla uniforme.

Extruido: Las harinas fueron introducidos a la extrusora bajo las mejores condiciones de humedad, temperatura y rpm.

Análisis sensorial: Se realizó el análisis en estudiantes del centro pre-universitario de la Universidad Nacional de Juliaca con 50 panelistas no entrenados; de la cuales se eligieron las 2 mejores muestras con mayor aceptabilidad sensorial.

d) Diseño estadístico

- Se aplicó un diseño factorial 2^3 con un total de 8 tratamientos, en los cuales se evaluaron distintas proporciones de harina de fenogreco, quinua roja y quinua negra, con la finalidad de determinar su efecto sobre la aceptabilidad sensorial del extruido.

Tabla 11

Diseño factorial 2^3 formulación de harinas.

Formulación	Fenogreco (%)	Quinua roja (%)	Quinua negra (%)
F1	9	60	30
F2	5	60	32
F3	5	40	32
F4	5	60	30
F5	9	40	32
F6	9	60	32
F7	9	40	30
F8	5	40	30

FUENTE: Elaboración Propia.

Las proporciones de originales de cada tratamiento fueron normalizadas para expresar la composición de las mezclas sobre una base de 100%, manteniendo la relación entre los componentes.

Ecuación de la normalización

$$Pi = \frac{Xi}{\sum Xi} \times 100$$

Tabla 12

Formulaciones normalizadas a 100%.

Formulación	Fenogreco (%)	Quinua roja (%)	Quinua negra (%)
F1	9.09	60.61	30.3
F2	5.15	61.86	32.99
F3	6.49	51.95	41.56
F4	5.26	63.16	31.58
F5	11.11	49.38	39.51
F6	8.91	59.41	31.68
F7	11.39	50.63	37.97
F8	6.67	53.33	40

Nota: Las formulaciones fueron normalizadas considerando una base de 100%.

FUENTE: Elaboración propia.

3.10.5 Aceptabilidad sensorial

Las distintas formulaciones de extruidos fueron evaluadas considerando el grado de satisfacción de los consumidores respecto al color, sabor y apariencia general del producto. El puntaje de calificación fue de 1 a 5 puntos según el grado de satisfacción. Las muestras se presentaron a 50 panelistas no entrenados, mayores de edad entre 18 a 23 años, voluntarios, ambientes con adecuada iluminación, sin ruido, muestras en empaques iguales, muestras aleatorizadas, estudiantes de la Universidad Nacional de Juliaca, personas no alérgicas a los ingredientes utilizados. Cada formulación se entre con diferente código.

Diseño de presentación de muestras

Las muestras fueron codificadas con números aleatorios de tres dígitos 110, 120 y 130 y presentadas a los panelistas de forma aleatorizada, con el fin de minimizar el sesgo de orden. La evaluación se realizó en condiciones controladas, proporcionando agua potable para el enjuague bucal entre muestras. Cada panelista evaluó 3 réplicas de la misma formulación.

Objetivo 3.

- Analizar la caracterización nutricional y microestructura de los extruidos nutritivos con mayor aceptabilidad sensorial.

a) Variables

Variables Independiente

- Extruidos nutritivos con mayor aceptabilidad: X_1 y X_2 .

Variables dependientes

- Macronutrientes
 - Carbohidratos
 - Proteínas
 - Grasas
- Micronutrientes
 - Vitaminas
 - Minerales
- Microscopia Electrónica de Barrido
 - Tamaño
 - Forma

b) Diseño experimental

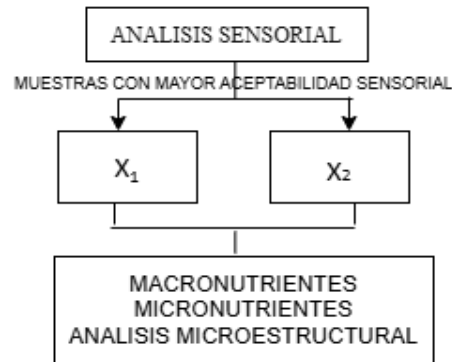


Figura 11 Diagrama de flujo del objetivo 03.

FUENTE: Elaboración propia.

c) Procedimiento

- Luego de haber obtenido realizar el análisis sensorial en el objetivo 2 y elegir las dos mejores muestras según el color, sabor y apariencia global del extruido. Se procedió a realizar el análisis del contenido de macronutrientes, micronutrientes y microestructura de los 2 extruidos con mejor aceptabilidad.

d) Método de análisis

Macronutrientes

- NTP 205.004:2022. Cenizas. (INACAL, 2022). ANEXO 02
- NTP 205.002:2021. Humedad (INACAL, 2021). ANEXO 03
- NTP 205.006:2018. Materia grasa (INACAL, 2018) ANEXO 04
- NTP 205.005:2018. Proteínas totales (INACAL, 2018b) ANEXO 05

Micronutrientes

- **Fosforo** : AOAC 986.24 (AOAC, 2023).
- **Hierro** : NOM-117-SSA1 (NOM, 1994) .
- **Mg**: AOAC 986.24 (AOAC, 2023).

Vitaminas

- **Vitamina A**: (AOAC 992.06 Vitamin A, 2023).
- **Vitamina C**: (AOAC 985.33, 2023).

Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)

El análisis microestructural de los extruidos se realizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). Las muestras fueron previamente secadas y luego fijadas en soportes metálicos con cinta conductora de carbono. Para mejorar la conductividad de la superficie y evitar efectos de carga durante la observación, las muestras se recubrieron con una fina película de material conductor. La caracterización se realizó mediante la adquisición de imágenes MEB empleando electrones secundarios, permitiendo evaluar la morfología superficial, presencia de poros y características estructurales generadas durante el proceso de extrusión (Lantes et al., 2011).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y discusiones se presentan organizados de acuerdo con cada objetivo específico.

4.1 Análisis Proximal del fenogreco

La harina de fenogreco (*Trigonella foenum-graecum L.*) presentó una composición nutricional caracterizada por un contenido de 51.36 % de carbohidratos, 26.28 % de proteína, 9.63 % de cenizas, 4.21 % de grasa y 8.52 % de humedad. Estos resultados muestran que la harina constituye una fuente importante de carbohidratos y proteínas, además de aportar minerales y presentar un contenido energético de 3999,46 kcal/kg, mostrando su potencial como ingrediente nutritivo para la elaboración de alimentos funcionales, como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13

Contenido proximal de la harina de fenogreco (Trigonella foenum-graecum L.).

Componente	Harina de fenofreco (<i>Trigonella foenum-graecum L.</i>)
% Carbohidrato	51.36
% Cenizas	9.63
% Grasa	4.21
% Humedad	8.52
% Proteína	26.28
% Energía total kcal	3999.46

FUENTE: Elaboración propia.

Según Bakhtiar & Hassandokht (2024), indican que en las semillas oscilan en un 45% a 60% de carbohidratos, están compuestas por mucilagos y polisacáridos no almidonosos (galactomananos) y esta alta concentración de carbohidratos solubles e insolubles le otorga a la harina propiedades de retención de agua.

El contenido de proteína obtenido es de 26.28% que supera a 23.0% reportado por Manuel & Valdéz (2011), en semilla entera de fenogreco. Esta diferencia sugiere que, durante la molienda para obtener la harina, las proteínas permanecen intactas en el embrión. Este resultado consolida a esta harina como una fuente proteica con un alto valor potencial. Por otra parte Atlaw (2018), señala que la proteína de *Trigonella foenum-graecum L.* es especialmente rica en aminoácidos esenciales como la lisina y el triptófano. Esto constituye una ventaja nutricional importante, debido a que estos aminoácidos suelen ser limitantes en cereales como el trigo y el maíz.

El porcentaje de cenizas fue 9.63 % lo que indica un significativo aporte de minerales. Como indica Kochhar et al. (2006), que las semillas del fenogreco alcanza porcentajes de ceniza cercanos al 9.89 % según la variedad evaluada, el alto contenido de la harina retiene eficientemente la riqueza mineral de la semilla la cual destaca principalmente por aportes de calcio, hierro y fosforo.

La harina de fenogreco presentó un 8.52% de humedad, posicionándose por debajo del promedio característico de las semillas secas (8.9% a 10.9%). Según lo planteado por Buba et al. (2015), un contenido de humedad menor al 10% es técnicamente óptimo para asegurar una baja actividad de agua, factor que frena el deterioro enzimático y restringe el crecimiento microbiológico durante el almacenamiento.

El contenido de grasa fue bajo, registrando un 4,21%. Esto concuerda con las propiedades de *Trigonella foenum-graecum L.* que es clasificada como una legumbre de bajo aporte cuyo rango normal se ubica entre 3.5% y el 7.9% de grasa (Alsebaei et al., 2017). Desde una perspectiva tecnológica un bajo porcentaje de lípidos es altamente ventajoso, ya que reduce la susceptibilidad de la harina a sufrir una rancidez oxidativa.

La energía total alcanzó las 3999.46 kcal/kg, un resultado directamente influenciado por su contenido proteico y de carbohidratos. Este resultado es comparable con lo reportado por estudios de composición proximal en semillas de fenogreco, donde se observaron valores energéticos brutos cercanos a 4062 kcal/kg y 430 kcal/100 g, evidenciando que este ingrediente presenta un aporte energético elevado y similar al de otras leguminosas (Tura et al., 2023).

Objetivo: 01

Determinar las mejores condiciones de humedad, temperatura y rpm en el proceso de extrusión.

4.2 Textura

La textura de los extruidos, destacando el tratamiento T3 (12% humedad, 150 °C temperatura, 350 rpm) con una textura de 284.97 N siendo el tratamiento con una menor dureza, mientras que el T6 (17% humedad, 140°C temperatura y 300 rpm) fue el tratamiento con una mayor dureza con una textura de 435.71 N como se muestra en la Tabla 14. Los resultados ANOVA mostraron que la humedad tiene un nivel de significancia de ($p < 0.05$) como se muestra en el ANEXO 16.

Tabla 14

Resultados del análisis de textura del extruido.

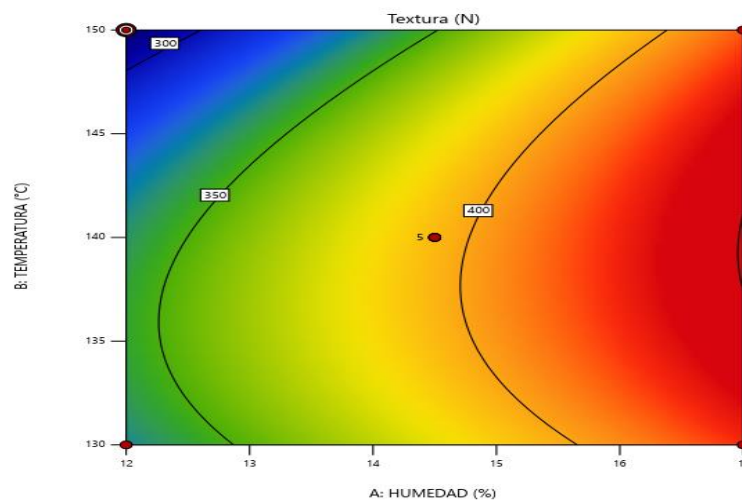
Tratamiento	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	Textura (N)	Tukey (95 %)
T1	12	130	350	335±1.37	abcd
T2	17	130	350	425±48.1	e
T3	12	150	350	284±23.9	a
T4	17	150	350	416±52.4	de
T5	12	140	300	318±11.2	abc
T6	17	140	300	435±18.4	e
T7	12	140	400	295±34.5	ab
T8	17	140	400	403±95.0	de
T9	14.5	130	300	379±23.7	cde
T10	14.5	150	300	322±33.3	abc
T11	14.5	130	400	314±29.4	abc
T12	14.5	150	400	312±25.2	abc
T13	14.5	140	350	429±16.4	e
T14	14.5	140	350	371±64.1	cde
T15	14.5	140	350	384±63.3	cde
T16	14.5	140	350	427±1.51	e
T17	14.5	140	350	356±119.	bcde

FUENTE: Elaboración propia.

Según Sinaki & Koksel (2024), este comportamiento puede explicarse a partir de la expansión y formación de la estructura interna del extruido. A bajos niveles de humedad (12 %), el incremento de la temperatura de (105°C a 115°C) favorece la expansión del extruido debido a una mayor vaporización del agua, generando estructuras más porosas y, en consecuencia, una menor dureza.

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Cuggino (2008), quien reportó que a temperaturas más elevadas y menores contenidos de humedad favorece la obtención de extruidos con menor dureza. En su investigación, las muestras procesadas a 150 °C y 19 % de humedad registraron los mayores valores de dureza, mientras que aquellas elaboradas a 180 °C y 15 % de humedad presentaron los menores valores. Estos resultados indican que la dureza de los productos extruidos depende principalmente de la interacción entre la temperatura y el contenido de humedad, más que del efecto individual de cada variable.

Se puede observar que la humedad y la temperatura ejercen una importante influencia durante el proceso de extrusión. El extruido con mejor textura se puede obtener a una temperatura de 140 a 150 °C y una humedad de 12 a 12.5 % como se muestra en la Figura 12.



Nota: X=humedad; Y= temperatura y Z=Textura

Figura 12 Grafica del efecto de la temperatura y la humedad en la textura del extruido.

Asimismo, Delgado et al. (2020), han señalado que la humedad de alimentación puede aumentar la dureza del extruido al reducir la expansión y generar estructuras más compactas, mientras que temperaturas más altas tienden a favorecer la expansión y disminuir la dureza del producto final

El efecto de la humedad, al observar que la temperatura es constante de 140°C y al aumentar la humedad hasta 17%, la textura (N) incrementa a tener mayor dureza. Una mayor humedad limita la expansión y esto resulta menos porosa por lo tanto mayor dureza. Este comportamiento ha sido reportado Del Campo (2018), muestra que a mayor cantidad de agua, los productos extruidos tendrán mayor dureza. Esto coincide con lo reportado por Sahu et al. (2022), señala que a mayor humedad generan extruidos con menor porosidad y mayor dureza, lo cual puede explicar el porqué del resultado de 435.71 N; porque el T6 (17% humedad, 140°C temperatura y 300 rpm) contiene una humedad de 17%.

4.3 Color

En el análisis de color determinado mediante el sistema CIELAB color space (L*, a*, b*) Se evidenció que la humedad constituye uno de los factores con mayor influencia sobre las características cromáticas del extruido

Tabla 15

Resultado del análisis de colorimetría del extruido.

T	H (%)	T (°C)	Velocidad (rpm)	Color					
				L	a	b			
T1	12	130	350	50.94 ± 1.6	ab	7.17 ± 0.4	a	15.37 ± 0.6	a
T2	17	130	350	42.41 ± 0.6	b	6.10 ± 0.5	ab	9.05 ± 1.5	b
T3	12	150	350	53.86 ± 1.8	a	7.07 ± 0.4	a	15.57 ± 0.8	a
T4	17	150	350	44.00 ± 0.6	ab	6.20 ± 0.5	ab	10.81 ± 1.0	ab
T5	12	140	300	50.36 ± 0.5	ab	6.28 ± 0.6	ab	13.63 ± 0.2	ab
T6	17	140	300	44.30 ± 2.0	ab	5.50 ± 0.2	ab	9.86 ± 0.8	ab
T7	12	140	400	49.34 ± 0.5	ab	6.18 ± 0.9	ab	14.01 ± 1.1	ab
T8	17	140	400	41.78 ± 0.7	b	5.46 ± 0.2	ab	8.62 ± 1.4	b
T9	14.5	130	300	45.58 ± 0.9	ab	4.93 ± 0.8	b	11.33 ± 0.4	ab
T10	14.5	150	300	43.65 ± 1.9	b	5.59 ± 0.5	ab	10.95 ± 0.9	ab
T11	14.5	130	400	45.02 ± 0.1	ab	5.53 ± 0.3	ab	10.67 ± 0.2	ab
T12	14.5	150	400	45.09 ± 0.8	ab	6.01 ± 0.7	ab	12.35 ± 0.4	ab
T13	14.5	140	350	46.55 ± 0.7	ab	6.40 ± 0.2	ab	10.46 ± 1.2	ab

«continuación»

T14	14.5	140	350	45.09 ± 0.4	ab	6.13 ± 0.8	ab	10.71 ± 0.9	ab
T15	14.5	140	350	44.30 ± 0.4	ab	6.22 ± 0.5	ab	13.04 ± 0.5	ab
T16	14.5	140	350	47.04 ± 1.1	ab	6.25 ± 0.6	ab	12.04 ± 0.7	ab
T17	14.5	140	350	45.30 ± 0.7	ab	6.48 ± 0.3	ab	11.81 ± 1.0	ab

Nota: Humedad (H), Temperatura (T) y Revoluciones por minuto (rpm).

FUENTE: Elaboración propia.

Luminosidad (L*)

Se observó que los valores más altos de luminosidad (L*) se presentaron bajo condiciones de menor humedad. El tratamiento T3 (12 % de humedad, 150 °C y 350 rpm) presentó el mayor valor de L* (53.86), indicando una mayor luminosidad y reflectancia de la luz, asociada con una apariencia más clara del extruido. En contraste, el tratamiento T8 (17 % de humedad, 140 °C y 400 rpm) registró el menor valor de L* (41.78), evidenciando una menor luminosidad y una apariencia relativamente más oscura. Estos resultados sugieren que el nivel de humedad y la temperatura influyeron en el desarrollo del color del producto durante la extrusión.

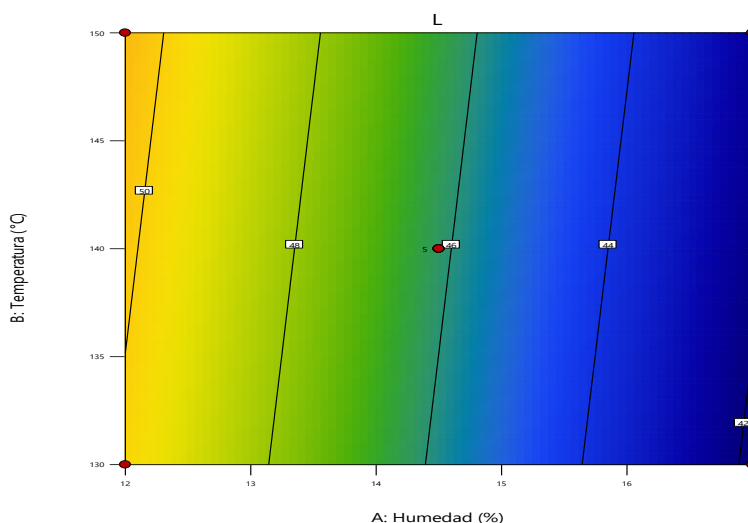


Figura 13 resultados de L color

Según Esteller & Lannes (2005), valores elevados de L* indican una mayor luminosidad del producto. El comportamiento observado puede relacionarse la influencia de la humedad sobre las condiciones de extrusión, debido a que una mayor humedad puede disminuir la temperatura efectiva de la masa y limitar el desarrollo de reacciones de pardeamiento. Sin embargo, también

puede modificar la estructura y densidad del extruido, afectando la reflectancia de la luz y, por tanto, su luminosidad. Por otro lado, Pacheco et al. (2008), señalan que condiciones de mayor temperatura y menor humedad favorecen la reacción de Maillard, generando compuestos responsables de tonalidades marrones y anaranjadas, lo que puede contribuir a la disminución de L^* y al oscurecimiento del producto.

Coordenada a^*

En el tratamiento T3 (12 % de humedad, 150 °C y 350 rpm) se registró un valor elevado de a^* (7.40), indicando una mayor tendencia hacia tonalidades rojizas. En contraste, el tratamiento T8 (17 % de humedad, 140 °C y 400 rpm) presentó un menor valor de L^* (5.79), por tanto, una apariencia más oscura del extruido.

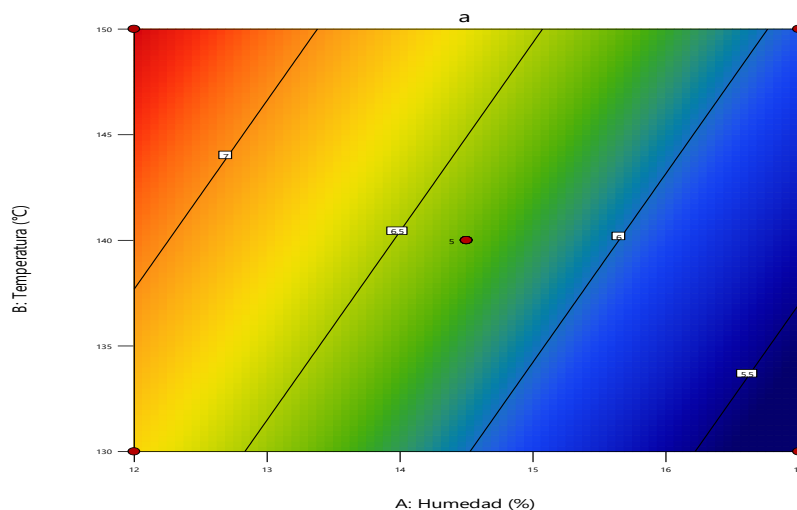


Figura 14 resultados de a color.

De acuerdo Esteller & Lannes (2005), la coordenada a^* representa las variaciones entre las tonalidades roja y verde, por lo que un incremento de este parámetro indica una mayor tendencia hacia tonalidades rojizas. En el presente estudio, las variaciones de a^* entre los tratamientos pueden relacionarse con las condiciones de humedad durante la extrusión. Una mayor humedad puede modificar la intensidad de las reacciones de pardeamiento y los cambios en los pigmentos presentes en las harinas de quinoa y fenogreco, generando cambios en la tonalidad del producto. Asimismo, Castro et al. (2013), señalan que el incremento de la humedad durante la extrusión puede favorecer el oscurecimiento del producto. Este comportamiento podría atribuirse a la

interacción de la humedad con la temperatura durante el procesamiento, afectando las características superficiales y, consecuentemente, los valores de color del extruido.

Coordenada b^*

En el tratamiento T3 (12 % de humedad, 150 °C y 350 rpm) se registró el valor más elevado de b^* (15.57), indicando una mayor tendencia hacia tonalidades amarillas. En contraste, el tratamiento T8 (17 % de humedad, 140 °C y 400 rpm) presentó el valor más bajo de b^* (8.62), evidenciando una menor intensidad de la tonalidad amarilla.

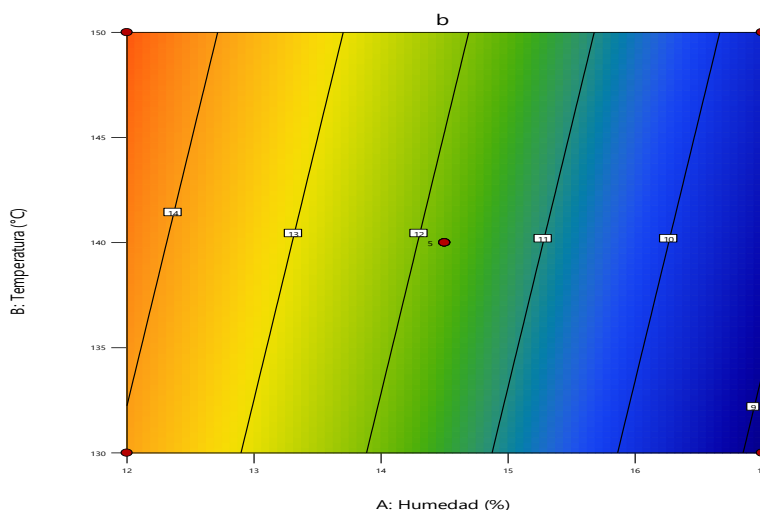


Figura 15 Resultados de b color.

De acuerdo Esteller & Lannes (2005), la coordenada b^* representa la variación entre las tonalidades amarilla y azul. Los cambios observados en este parámetro pueden atribuirse a las condiciones de humedad y temperatura durante la extrusión, las cuales modifican las reacciones de pardeamiento y la transformación de los pigmentos presentes en las materias primas. Castro et al. (2013), señalan que la humedad durante la extrusión influye en el desarrollo del color del producto. Asimismo, la temperatura puede intensificar las reacciones de Maillard, generando cambios en las tonalidades del extruido. Por tanto, el comportamiento de b^* estaría relacionado con la interacción entre la humedad y la temperatura durante el proceso de extrusión. Lei et al. (2008), señalaron que el incremento de la temperatura del barril y de la velocidad del tornillo, junto con una menor humedad, favoreció el aumento de los valores de b^* . Asimismo, los autores determinaron que la temperatura alcanzada por el producto influyó significativamente en el desarrollo de su color.

4.4 Humedad

El tratamiento que presentó el menor contenido de humedad fue T3 (12% humedad, 150 °C temperatura, 350 rpm) debido a la alta temperatura que se le aplicó perdió su contenido de humedad, como resultado una humedad de 6.55%, con una diferencia significativa. Como resultado del tratamiento con la humedad más alta fue el T8 (17% humedad, 140 °C temperatura, 400 rpm) con una humedad final de 11.44 %, siendo la humedad final más alta de todos los tratamientos.

Tabla 16

Resultados de porcentaje de humedad del extruido

Tratamiento	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	Humedad (%)	Tukey (95 %)
T1	12	130	350	8.66±0.16	a
T2	17	130	350	11.3±0.16	d
T3	12	150	350	6.55±0.15	a
T4	17	150	350	11.0±0.16	cd
T5	12	140	300	7.77±0.15	ab
T6	17	140	300	11.3±0.17	d
T7	12	140	400	7.63±0.15	ab
T8	17	140	400	11.4±0.17	d
T9	14.5	130	300	10.4±0.16	bcd
T10	14.5	150	300	10.4±0.16	bcd
T11	14.5	130	400	10.1±0.16	bc
T12	14.5	150	400	9.33±0.16	abc
T13	14.5	140	350	10.7±0.16	bcd
T14	14.5	140	350	10.6±0.16	bcd
T15	14.5	140	350	10.7±0.16	bcd
T16	14.5	140	350	10.5±0.17	bcd
T17	14.5	140	350	10.9±0.17	cd

FUENTE: Elaboración propia.

El contenido de humedad final de los extruidos, de acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) presentado en el ANEXO 20, mostró que el modelo fue estadísticamente significativo ($p < 0,05$).

Por otro lado, el trabajo de Atalaya (2024), sobre un snack elaborado con maíz morado y quinua también se observó que el contenido de humedad final varió de acuerdo con la temperatura de extrusión y la formulación. En ese estudio, el tratamiento con menor humedad final fue de 7.97%, mientras que el mayor alcanzó 9.73%, valores cercanos a los tuyos, aunque algo inferiores. Esa diferencia puede deberse a la composición de la materia prima, al tipo de extrusor y a las condiciones de operación, pero en ambos casos se observa la misma tendencia: a menor humedad inicial y mayor intensidad térmica, menor humedad final en el extruido. El alto contenido de humedad en el extruido favorece al crecimiento microbiano y acelera el deterioro, reduciendo la vida útil del producto (Kour et al., 2022).

Se aprecia el efecto de la temperatura y la humedad inicial de la harina puede influir en el producto final, como se observa en la Figura 16. A medida que aumenta la temperatura de extrusión, la humedad de la harina se pierde durante el proceso. Las temperaturas más adecuadas esta entre 135 a 140°C y una humedad de 12 %. Si aplicamos más calor podríamos llegar a quemar la materia prima.

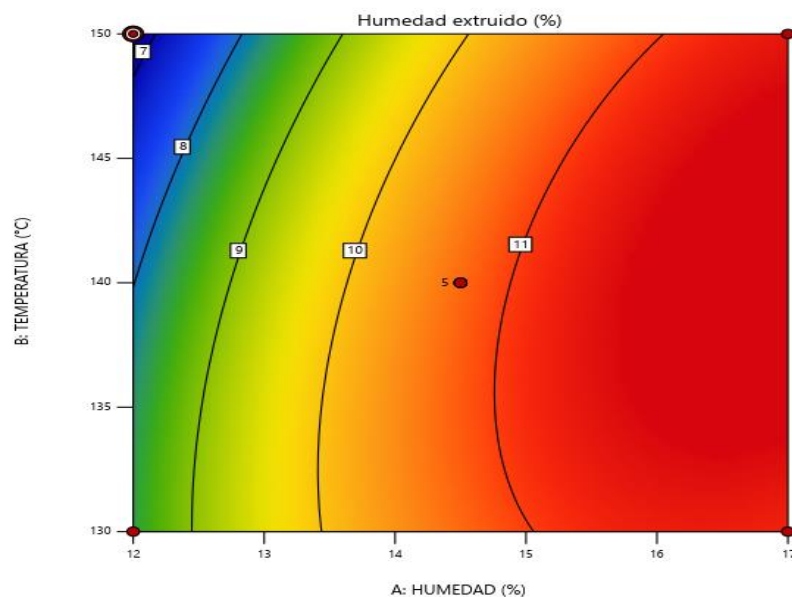


Figura 16 Gráfico del % de humedad en el extruido.

Se observa que los valores de la respuesta en el gráfico varían principalmente con el incremento de la humedad, evidenciándose una tendencia hacia valores más altos en la región con mayor humedad. En cuanto al efecto de la temperatura es menos pronunciado, aunque se aprecia una ligera modificación de la respuesta al variar este factor.

Desde el punto de vista de la calidad, el control de la humedad es fundamental, debido a su influencia sobre la estabilidad y textura del producto extruido. Un contenido elevado de humedad puede generar productos más densos y duros (Cerón, 2016). En este estudio, una humedad de 17 % favoreció el efecto lubricante del agua dentro del extrusor, reduciendo la viscosidad y el cizallamiento de la masa; como consecuencia, disminuyó la generación de calor por fricción y se modificó el comportamiento de expansión del producto durante la salida por la matriz.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por Sahu et al. (2022), quienes señalaron que el contenido de humedad inicial de la materia prima influye significativamente en las propiedades físicas del producto extruido. Los autores observaron que menores niveles de humedad favorecieron una mayor expansión y una menor humedad residual, debido a una mayor intensidad de cizallamiento y a cambios estructurales más favorables durante la extrusión. Por ello, la humedad constituye una variable fundamental para controlar las características físicas y texturales del extruido.

4.5 Índice de solubilidad de agua e Índice de absorción de agua

El índice de solubilidad de agua (ISA) osciló desde 16.3% hasta 24 % y el Índice de Absorción de Agua desde 6.98 g gel/g muestra hasta los 8.21 g gel/ g muestra el índice más alto. El tratamiento T3 (12% humedad, 150°C temperatura y 350 rpm) fue el tratamiento con los valores más altos de índice de solubilidad en agua (ISA) de 24 % e índice de absorción de agua (IAA) con 8.21 g gel/g muestra.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) en la cual la humedad tuvo un nivel de significancia de ($p < 0.05$) ANEXO 21 y ANEXO 22.

Tabla 17*Resultado de (ISA) e (IAA) del extruido.*

Tratamiento	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	ISA (%)	Tukey (95 %)	IAA (g gel/g muestra)	Tukey (95 %)
T1	12	130	350	22.6±0.16	bc	7.79±0.15	bc
T2	17	130	350	20.6±0.12	abc	7.06±0.14	a
T3	12	150	350	24.0±0.16	c	8.21±0.15	c
T4	17	150	350	19.4±0.10	ab	7.24±0.12	ab
T5	12	140	300	23.2±0.15	bc	8.1±0.15	c
T6	17	140	300	17.0±0.12	a	7.02±0.14	a
T7	12	140	400	21.6±0.11	abc	8.14±0.15	c
T8	17	140	400	16.3±0.10	a	6.98±0.13	a
T9	14.5	130	300	22.4±0.12	bc	7.48±0.14	abc
T10	14.5	150	300	19.6±0.11	ab	7.55±0.14	abc
T11	14.5	130	400	21.4±0.12	abc	7.57±0.14	abc
T12	14.5	150	400	21.2±0.09	abc	7.70±0.14	bc
T13	14.5	140	350	21.1±0.11	abc	7.42±0.13	abc
T14	14.5	140	350	21.7±0.10	abc	7.43±0.13	abc
T15	14.5	140	350	21.3±0.09	abc	7.26±0.13	ab
T16	14.5	140	350	20.8±0.10	abc	7.44±0.13	abc
T17	14.5	140	350	20.3±0.10	abc	7.24±0.13	ab

FUENTE: Elaboración propia.

Según, Gonzales (2024), en su trabajo realizado sobre la extrusión de harina de tarwi y pecanas sus resultados de ISA oscilaron de 13.86 y 21.06, obteniendo valores significantes. Las muestras con menor índice de expansión obtuvieron valores menores de ISA. Las muestras extruidas se encuentran dentro del porcentaje de ISA con una degradación moderada.

Según, Santacruz (2014), en su estudio de extruido, trabajo con la humedad 13, 15 y 17% y velocidad de extrusión 324, 360 y 396 rpm. El índice de absorción (IAA) fue de 4.64 a 5.27, estos resultados son bajos en comparación de los resultados obtenidos. Los niveles altos de humedad

pueden reducir la cizalla mecánica dentro del extrusor, limitando la degradación estructural y reduciendo la solubilidad (Singh et al., 2007). Cuando menor sea el porcentaje de humedad mayor será el IAA debido a que el índice de gelatinización es alto. Los resultados obtenidos se encuentran con un buen nivel de gelatinización del almidón de un mínimo de 6.99 y máximo de 8.21 g gel/ g muestra. Según Néder et al. (2016), reportó que el ISA varió ampliamente, entre 2.1% y 28.1% , y que la humedad de extrusión fue la variable con mayor efecto sobre el índice de solubilidad (ISA) a temperaturas bajas y altas humedades el ISA disminuye drásticamente.

Índice de solubilidad de agua (ISA)

El gráfico demuestra que la humedad es el factor que más afecta al Índice de Solubilidad en Agua (ISA), teniendo una relación inversa que, a menor humedad, mayor es la solubilidad. El valor más alto de ISA es 24.08% con una humedad de 12%, con temperatura 150 °C, lo que se observa en la zona de color rojo, ocurre porque el almidón sufre un daño severo dentro del extrusor, como se muestra en la Figura 17.

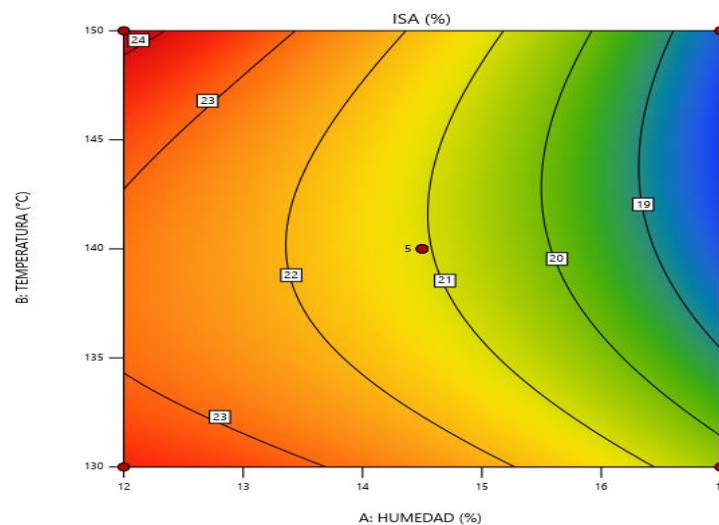


Figura 17 Índice de Solubilidad de Agua (ISA) en el extruido

Esta combinación de fricción y calor rompe el almidón en pedazos pequeños llamados dextrinas, que se disuelven muy fácil en el agua. Este comportamiento coincide con lo reportado por Tovar et al. (2017), quien sustenta que el índice de solubilidad en agua es un indicador directo del grado de cocción y del daño que sufre el grano bajo condiciones intensas de operación. Cuando la humedad aumentó al 17%, la solubilidad cayó a sus niveles más bajos menos del 19%, zona azul, demostrando que con mucha humedad la temperatura ya no logra generar un impacto importante

en el ISA. Oliva & Adalberto (2016), quienes señalan que, en mezclas extruidas con quinua, el contenido de agua es la variable determinante que controla el daño molecular y reduce la solubilidad final del producto. Según Cerón (2016), al haber más líquido, la mezcla se vuelve más fluida y resbaladiza y pasa por el extrusor no se podrán triturar ni aplastar el almidón con suficiente fuerza debido a que el almidón se mantiene casi intacta el producto final no se puede disolver con facilidad, lo que explica por qué el Índice de Solubilidad en Agua (ISA) disminuye.

Índice de absorción de agua (IAA)

La humedad es el factor que más afecta al Índice de Absorción de Agua (IAA), teniendo una relación inversa que, a menor humedad, mayor es la absorción. El valor más alto de IAA es 8.21g gel/g muestra con una humedad de 12%, 150°C Temperatura, lo que se observa en la zona de color rojo. Esto ocurre porque al haber poca agua, la mezcla se vuelve espesa y los tornillos la muelen con mucha fuerza (cizalla), rompiendo y gelatinizando el almidón. Al dañarse la estructura del grano, quedan expuestos más puntos de unión que atrapan y retienen una mayor cantidad de agua.

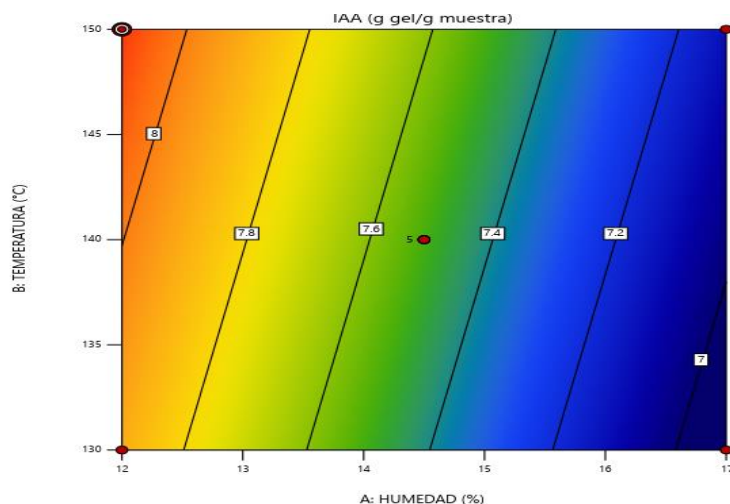


Figura 18 Índice de Absorción de absorción de agua (IAA) del extruido.

Según, Oliva & Adalberto (2016), quienes señalan que en harinas compuestas con cereales y pseudocereales como la quinua, los contenidos bajos de humedad de alimentación intensifican el trabajo mecánico del tornillo, lo que acelera la cocción y gelatinización térmica del almidón, incrementando drásticamente su capacidad final para absorber líquidos y formar geles funcionales. Por el contrario, a una humedad alta de 17% zona azul, el agua lubrica el proceso y protege al almidón, dejando el IAA en su valor más bajo de 6.99 g gel/g muestra. Según Cerón (2016), quien

señala que niveles elevados de humedad libre disminuyen drásticamente el cizallamiento y la generación de calor por fricción dentro del equipo.

4.6 Índice de expansión

El tratamiento T3 (12% humedad, 150°C temperatura y 350 rpm) tiene el mejor índice de expansión (IE) 2.27 siendo el más alto y el de menor índice de expansión fue del T8 (17% humedad, 140 temperatura y 400 rpm) con 1.22 de IE, con una diferencia significativa en los resultados.

Tabla 18

Resultado del índice de expansión del extruido.

Tratamiento	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	IE	Tukey (95 %)
T1	12	130	350	2.135±0.08	cd
T2	17	130	350	1.878±0.05	ab
T3	12	150	350	2.270±0.00	d
T4	17	150	350	1.910±0.08	ab
T5	12	140	300	2.204±0.10	d
T6	17	140	300	1.866±0.03	a
T7	12	140	400	2.224±0.07	d
T8	17	140	400	1.808±0.02	a
T9	14.5	130	300	2.042±0.02	bc
T10	14.5	150	300	2.082±0.01	bcd
T11	14.5	130	400	2.114±0.01	cd
T12	14.5	150	400	2.140±0.02	cd
T13	14.5	140	350	1.934±0.05	ab
T14	14.5	140	350	1.948±0.11	ab
T15	14.5	140	350	1.918±0.02	ab
T16	14.5	140	350	1.970±0.08	ab
T17	14.5	140	350	1.914±0.02	ab

FUENTE: Elaboración propia.

El resultado obtenido por Muñoz et al. (2022), tiene una similitud con los resultados obtenidos, en su estudio obtuvo un índice de expansión de 2.31 y 1.22 de IE, esto se debe que ha mayor cantidad de humedad y bajas temperaturas. Kowalski et al. (2016), realizó el estudio en el extruido de quinua, indica que los resultados variaron entre 1.19 y 1.67 de IE que fueron bajos en comparación con otras harinas, como los extruido de maíz que presentan 4.0 de índice expansión. Este resultado se debe al alto contenido de proteínas (Carrasco et al., 2011). La humedad en la alimentación tiende a reducir el índice de expansión, como se muestra en la Tabla 18. Los tratamientos que contienen alto contenido de humedad, tienen bajo índice de expansión. Según Jan et al. (2017), en su estudio realizado con la extrusión con quinua germinada, indica que el incremento de humedad en la harina tiene efecto negativo sobre el índice expansión. Según Sharmila (2018), la humedad alta trabaja como un lubricante dentro de la extrusora, disminuyendo la fricción y la temperatura interna de la máquina, como resultado menor cocción y por ende menor índice de expansión de la harina.

El efecto de la humedad (12-17 %) y la temperatura (130-150 °C) durante la extrusión sobre el índice de expansión se muestra en la Figura 19. Los valores más altos de IE se encuentran en las zonas roja y naranja, con temperaturas entre 145 y 150 °C. Por el contrario, los valores menores de IE (1,80-1,90) se presentan en la zona azul, donde la humedad alcanza el 17 %. Como se observa, el aumento de la humedad disminuye significativamente el IE, mientras que el incremento de la temperatura favorece la expansión del producto.

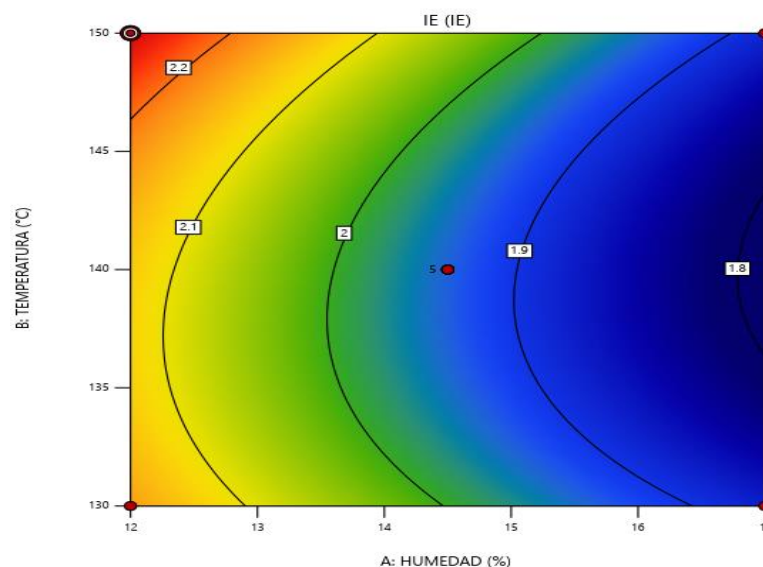


Figura 19 Grafico del índice de expansión en el extruido.

Los resultados reportados por Ding et al. (2006), la disminución de la humedad de alimentación incremento significativamente el índice de expansión en snacks extruidos a base de arroz. Asimismo Bouvier & Campanella (2014), señalo que la expansión de los productos dependen de la humedad, ya que el agua controla la viscosidad y la presión de vapor que genera al salir. La temperatura al incrementar ayuda en la expansión, debido a una mayor cocción y transformación de almidón. Así como indica Guy (2001), menciona que la combinación de baja humedad y alta temperatura genera una mayor expansión.

4.7 Deseabilidad y validación

Mediante la función de deseabilidad de Design-Expert, las condiciones óptimas para maximizar el índice de expansión fueron 12.00 % de humedad, 150 °C y 365 rpm, con un IE predicho de 2.289.

Tabla 19

Valores predictivos para la extrusión según su IE.

Variables	Valores predicho
Humedad	12.00 %
Temperatura	150 °C
IE	2.289

Nota: se consideró solo las variables que tuvieron significancia

La baja humedad y elevada temperatura favorecieron la expansión del extruido al facilitar la gelatinización del almidón y la rápida evaporación del agua.

La deseabilidad alcanzó un valor global de 1,000, lo que indica que la combinación de factores seleccionada corresponde a la condición óptima para maximizar el índice de expansión del extruido.

Tabla 20

Validación a 95% de confianza en IE.

Análisis	Media Predicha.	Mediana Predicha	Desviación Estándar	n	Error Estándar	95% PI low	Mediana dato	95% PI high
IE	2.289	2.289	0.0353452	3	0.0374406	2.20059	2.27	2.37766

FUENTE: Elaboración propia.

Se presenta la validación experimental del modelo predictivo para el índice de expansión (IE) bajo las condiciones óptimas de extrusión determinadas por el software Design-Expert. El modelo predijo un valor de 2.289 para el IE, mientras que el valor experimental promedio obtenido fue de 2.270, evidenciando una estrecha concordancia entre ambos resultados.

Asimismo, el valor experimental se encontró dentro del intervalo de predicción al 95 %, cuyos límites inferior y superior fueron 2.20059 y 2.37766, respectivamente. La desviación estándar obtenida fue de 0.0353, lo que indica una baja variabilidad entre las repeticiones experimentales y una adecuada precisión de los datos.

Objetivo: 02

Evaluar el efecto de la harina de fenogreco, quinua negra y quinua roja en la aceptabilidad sensorial de los extruidos nutritivos.

4.8 Aceptabilidad sensorial

El análisis sensorial de las 8 formulaciones de extruidos permitió identificar diferencias significativas en la aceptación de los panelistas según las proporciones de harina de quinua negra, quinua roja y fenogreco. Las formulaciones con mayor aceptabilidad en color, sabor y apariencia global fueron seleccionadas como las 2 mejores: F4 (5.26% Fenogreco, 63.16 % Quinua Roja y 31.58% Quinua Negra) y F8 (6.67% Fenogreco, 53.33 % Quinua Roja y 40% Quinua Negra).

Los resultados muestran que los extruidos con mayor proporción de quinua roja y negra favorecen el color, sabor y preferencia global, mientras que el fenogreco debe mantenerse en bajas proporciones para evitar sabores intensos que disminuyan la aceptación. Por el contrario, las formulaciones F5 (11.11% Fenogreco, 49.38 % Quinua Roja y 39.51% Quinua Negra) y F6 (8.91% Fenogreco, 59.41 % Quinua Roja y 31.68% Quinua Negra), presentaron los puntajes más bajos indicando que sus formulaciones no fueron tan agradables sensorialmente; ya que contiene un 9% de harina de fenogreco y tiene un olor más fuerte.

Tabla 21

Resultado del análisis sensorial de los extruidos con mayor preferencia.

Formulación	Fenogreco (%)	Quinua roja (%)	Quinua negra (%)	Color	Sabor	Apariencia global
F1	9.09	60.61	30.3	2.53	2.327	2.493
F2	5.15	61.86	32.99	2.43	2.107	2.267
F3	6.49	51.95	41.56	2.43	2.633	2.633
F4	5.26	63.16	31.58	2.83	3.167	3.193
F5	11.11	49.38	39.51	2.23	1.980	2.240
F6	8.91	59.41	31.68	2.25	1.973	2.193
F7	11.39	50.63	37.97	2.46	2.280	2.567
F8	6.67	53.33	40	2.71	2.927	2.987

Nota: Las formulaciones fueron normalizados a base de 100%.

FUENTE: Elaboración propia.

Estos resultados son coherentes con los de Llavata (2019), quienes evaluaron la aceptación sensorial, descubriendo que las sustituciones superiores al 5% mostraban una baja aceptación ocasionada por la fuerte presencia de amargor. Resultados similares fueron reportados por Solórzano (2019), quien elaboró productos con fenogreco, como panqueques, y observó que, al incrementar el porcentaje de fenogreco, la preferencia de los consumidores disminuía.

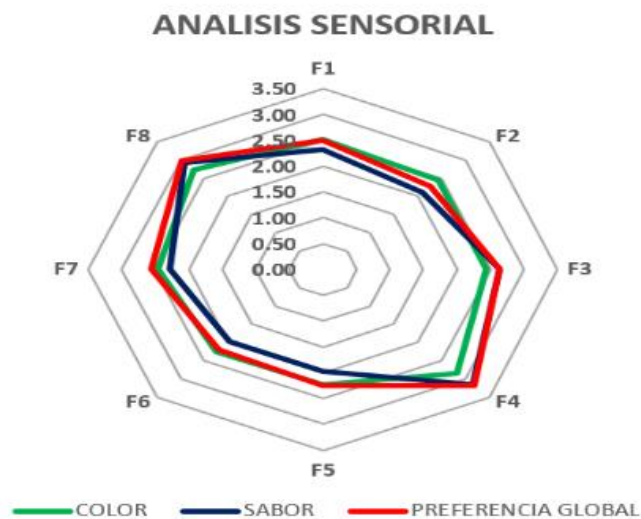


Figura 20 Gráfico de aceptabilidad sensorial del extruido.

En el atributo color, la formulación F4 (5.26 % de harina de fenogreco, 63.16 % de quinua roja y 31.58 % de quinua negra), presentó la mayor aceptación por parte de los panelistas. Respecto al atributo sabor fue F4 (5.26 % de harina de fenogreco, 63.16 % de quinua roja y 31.58 % de quinua negra) mientras que la formulación F6 (8.91 % de fenogreco, 59.41 % de quinua roja y 31.68 % de quinua negra) presentó el menor nivel de aceptación. En cuanto a la apariencia global, la formulación F4 (5.26 % de harina de fenogreco, 63.16 % de quinua roja y 31.58 % de quinua negra) nuevamente alcanzó la puntuación más alta, indicando una mayor aceptación general del producto por parte de los evaluadores. Por el contrario, la formulación F6 (8.91 % de fenogreco, 59.41 % de quinua roja y 31.68 % de quinua negra) que obtuvo la menor calificación en este atributo.

En el efecto de la harina sobre la aceptabilidad del color del extruido. Se observa que, al incrementar la proporción de harina de fenogreco y harina de quinua negra, la aceptabilidad del color disminuye. En cambio, el aumento de harina de quinua roja presenta una tendencia positiva, indicando que mayores concentraciones de este componente favorecen la aceptación del color del producto. Este comportamiento puede atribuirse a la presencia de pigmentos naturales característicos de la quinua roja, los cuales generan una tonalidad más atractiva en el extruido, mientras que mayores proporciones de fenogreco y quinua negra pueden intensificar tonalidades más oscuras que reducen la percepción de aceptación visual por parte de los consumidores.

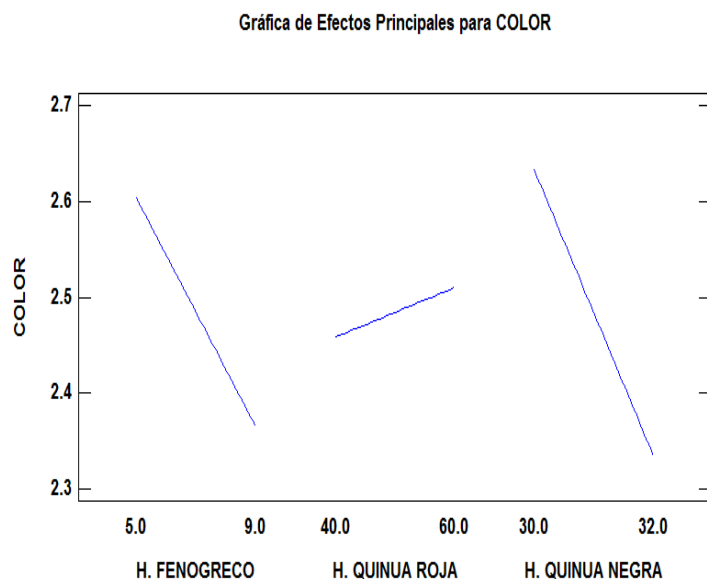


Figura 21 Efecto de las mezcla de harina en el color del extruido.

Según, Muñoz et al. (2022), este comportamiento puede atribuirse al mayor contenido de compuestos fenólicos y pigmentos naturales presentes en la quinua negra, los cuales, al ser sometidos a las elevadas temperaturas y fuerzas de cizalla de la extrusión, favorecen la formación de productos de la reacción de Maillard y la degradación de pigmentos, originando un color más oscuro. Creswell (1994), la concentración de betacianinas y compuestos fenólicos influye directamente sobre las características ópticas del grano; sin embargo, durante la extrusión estos pigmentos pueden sufrir modificaciones debido al tratamiento térmico, generando variaciones en la tonalidad final del producto. Según Kuktaite et al. (2022), durante la extrusión, la combinación de alta temperatura, presión y humedad puede provocar la ruptura de estos compuestos sensibles al calor, generando una disminución de la intensidad del color rojo y favoreciendo tonalidades más claras. Según Abugoch (2009), durante el proceso de limpieza y de saponificación, se eliminan parcialmente estas capas, reduciendo la presencia de compuestos responsables del color rojo intenso. Por ello, una harina obtenida de quinua roja procesada puede presentar una tonalidad más clara respecto al grano entero.

El sabor del extruido con respecto a las harinas, el atributo sabor muestra que menores cantidades de harina de fenogreco presentó una mayor puntuación de aceptabilidad, evidenciando una disminución del puntaje al incrementar la proporción de esta harina de fenogreco. Asimismo, la harina de quinua negra obtuvo una mayor aceptabilidad sensorial a niveles altos. En el caso de la harina de quinua roja, se observa una ligera disminución del puntaje, indicando un efecto menos marcado sobre el sabor.

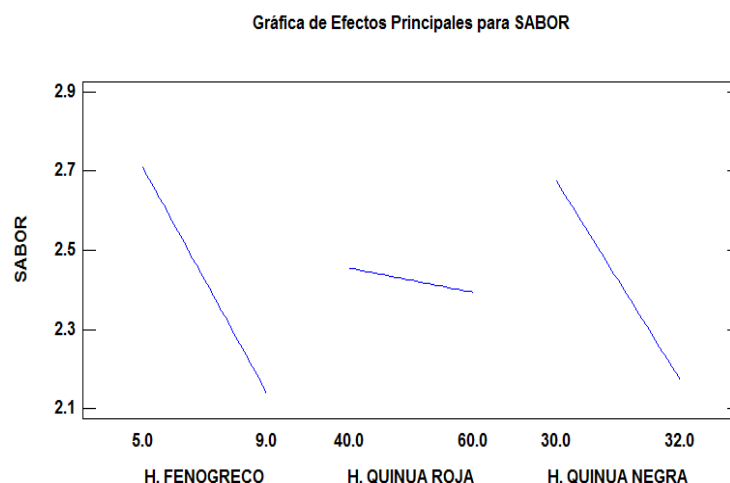


Figura 22 Efecto de la mezcla de harinas en el sabor del extruido.

Madeneni (2021), indica que el fenogreco contiene altas concentraciones de saponinas (como la diosgenina) y alcaloides no volátiles que confieren un sabor amargo e intensamente astringente al superar el nivel de adición del 5.0%. Según Lampi et al. (2015), el aroma y sabor pesado (sotolon) del fenogreco, se produce una sinergia sensorial desagradable que altera por completo el perfil aromático del snack, reduciendo drásticamente su aceptabilidad general. las variedades oscuras de quinua presentan mayor contenido de taninos y saponinas en sus capas externas. Durante la extrusión, estos compuestos pueden liberarse y distribuirse en la matriz del producto, interactuando con las proteínas salivales y generando sensaciones de amargor y astringencia que afectan la aceptación sensorial (Naumann et al., 2021). La quinua roja como un excelente agente de volumen y enriquecimiento nutricional que mantiene la estabilidad organoléptica del producto sin saturar el paladar, lo que facilita el desarrollo de formulaciones alimenticias sin comprometer el gusto del consumidor final (Creswell, 1994).

Los efectos de las harinas con respecto a la apariencia global del extruido de efectos, muestra que el incremento de la harina de fenogreco y de quinua negra disminuye la apariencia global del extruido, evidenciado por la pendiente negativa de sus curvas. En cambio, la harina de quinua roja presentó una pendiente ligeramente negativa, indicando un menor efecto desfavorable sobre la apariencia global en comparación con los otros componentes.

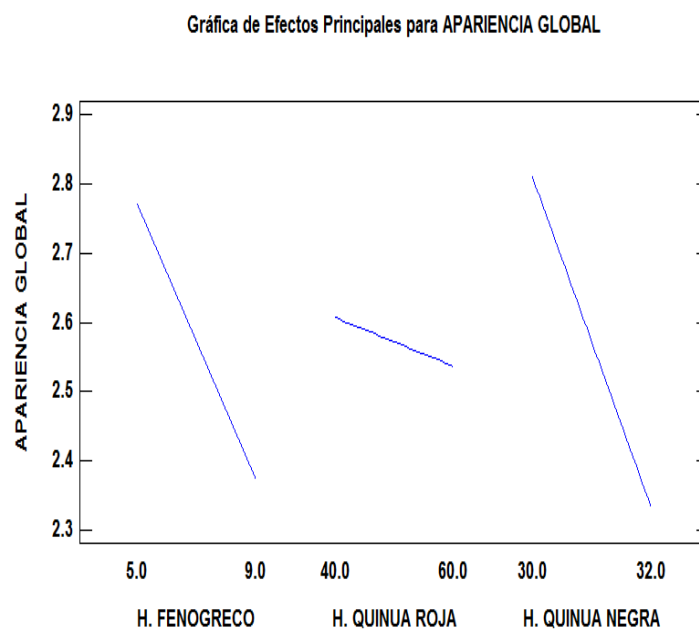


Figura 23 Efecto de la mezcla de harinas en la apariencia global del extruido.

Según Hina et al. (2025), esta asociación visual negativa se confirma fisiológicamente en boca, donde la liberación masiva de saponinas triterpénicas de la quinua negra y de la trigonelina del fenogreco satura las papilas gustativas con notas astringentes y amargas persistentes, consolidando el rechazo simultáneo en apariencia y sabor. Este color marrón grisáceo profundo no solo altera la cromaticidad de la superficie del snack, sino que desencadena una respuesta hedónica condicionada cognitivo de sobrecocción; el panelista asocia de manera visual el tono oscuro con compuestos de quemado y amargor antes de la masticación (Gong et al., 2016).

Objetivo: 03

Analizar la caracterización nutricional y microestructura de los extruidos nutritivos con mayor aceptabilidad sensorial

4.9 Macronutrientes y micronutrientes

El proceso de extrusión ocasionó modificaciones en la composición química de las formulaciones F4 (5.26 % de harina de fenogreco, 63.16 % de quinua roja y 31.58 % de quinua negra) y F8 (6.67% Fenogreco, 53.33 % Quinua Roja y 40% Quinua Negra). después del proceso de extrusión.

Tabla 22

Resultado de Macronutrientes y Micronutrientes.

Composición	Harina F4	Extruido F4	Harina F8	Extruido F8
Ceniza (g/100g)	3,64	3,34	3,56	3,23
Humedad (g/100g)	11,20	10,7	11,14	10,50
Materia grasa (g/100g)	6,20	5,51	5,85	5,51
Proteína total ((Nx6,25) g/100g)	16,71	14,83	16,09	14,40
Carbohidratos (g/100g)	62,25	65,62	63,36	66,36
Energía total (kcal/100g)	371,6	371,39	370,45	372,63
Fosforo (mg/100g)	514,25	488,70	500,25	462,10
Hierro (mg/kg)	36,20	29,98	40,21	32,06
Magnesio (mg/100g)	217,41	193,95	224,17	201,42
Vitamina C (mg/100g)	0.26	0.20	0.24	0.19
Vitamina A (mg/100g)	0.62	0.45	0.63	0.48

FUENTE: Elaboración propia.

Se muestran que en el proceso de extrusión ocasionó modificaciones en la composición química de las formulaciones F4 (5.26 % de harina de fenogreco, 63.16 % de quinua roja y 31.58 % de quinua negra) y F8 (6.67% Fenogreco, 53.33 % Quinua Roja y 40% Quinua Negra). después del proceso de extrusión. En general, se observó una pérdida en los contenidos de cenizas, humedad, grasas, proteínas, minerales y vitaminas, mientras que el porcentaje de carbohidratos presentó un ligero incremento.

El contenido de cenizas disminuyó después de la extrusión en ambas formulaciones, posiblemente debido a los cambios provocados por la temperatura, presión, humedad y cizallamiento durante el proceso, además de la pérdida de humedad del producto (Toro et al., 1988).

La humedad final de los extruidos disminuyó, lo que resulta favorable tecnológicamente para mejorar la estabilidad y vida útil del producto. Esta reducción se debe a la evaporación rápida del agua al salir de la matriz de extrusión. El fenogreco contiene galactomananos, polisacáridos solubles con elevada capacidad para absorber y retener agua. Durante la extrusión, estos compuestos forman una matriz viscosa que atrapa parte del agua dentro de la estructura del producto, reduciendo la cantidad de humedad que se evapora a la salida de la matriz (Bakhtiar & Hassandokht, 2024).

El contenido de grasa presentó pérdidas moderadas, siendo más pronunciadas en la formulación F4 (11.1 %) que en la F8 (5.8 %). Estas pérdidas fueron similares a las reportadas por Niu et al., (2024), quienes encontraron reducciones cercanas al 11.7 % en productos extruidos. De acuerdo con Khorshidian (2016), parte de los lípidos puede formar complejos con otros componentes de la matriz alimentaria, dificultando su extracción y cuantificación, además de que la oxidación lipídica inducida por el calor contribuye a su disminución.

Las proteínas también se redujeron después de la extrusión, aunque los productos finales conservaron contenidos superiores al 14 %, lo que representa un aporte nutricional importante. La disminución de las proteínas se relaciona con la desnaturalización y la formación de agregados proteicos inducidos por las altas temperaturas y las fuerzas de cizalla (Murillo, 2020). Por otra parte Singh et al. (2007), señala que temperaturas entre 120 y 160 °C producen desnaturalización proteica, mejorando la digestibilidad y algunas propiedades funcionales del producto. Asimismo,

niveles de humedad entre 12 y 18 % favorecen una desnaturalización controlada y evitan daños excesivos en las proteínas (Guy, 2001).

El contenido de carbohidratos aumentó en ambas formulaciones, principalmente por la reducción relativa de grasas y proteínas. Además, la gelatinización y fragmentación del almidón durante la extrusión favorecieron una mayor disponibilidad de los carbohidratos (Qiu et al., 2024).

El aporte energético de los extruidos se mantuvo estable, debido a que la disminución de proteínas y grasas fue compensada por el aumento relativo de los carbohidratos, coincidiendo con lo reportado por Singh et al. (2014) quien indican que la extrusión no genera cambios significativos en la densidad energética de los alimentos.

Respecto a los minerales, se observó una reducción en los contenidos de fósforo, magnesio e hierro. La pérdida de magnesio se encontró dentro del rango de disminución ligera (2-10 %) reportado por Singh et al. (2007), mientras que la reducción de fósforo fue aproximadamente un 20 %.

Finalmente, las vitaminas A y C mostraron reducciones moderadas después del procesamiento. La vitamina C presentó pérdidas inferiores al 30 %, menores a las reportadas por Riaz et al. (2009), quien menciona reducciones entre 30 y 70 % debido a la alta sensibilidad térmica del ácido ascórbico. De igual manera, la vitamina A disminuyó como consecuencia de su susceptibilidad a la degradación térmica y oxidativa (Onuh et al., 2017). No obstante, ambas vitaminas permanecieron en el producto final, indicando que el proceso de extrusión, aunque ocasiona pérdidas, no compromete totalmente el valor nutricional del extruido.

Valor diario

El extruido en 30 gr de muestra presenta un bajo contenido de grasa (2,1 % VD), carbohidratos (7,15 % VD) y energía (5,57 % VD), además de un aporte moderado de proteína (8,9 % VD). El fósforo tuvo (11,72 % VD), magnesio (13,85 % VD) y vitamina A (15 % VD), lo que evidencia que el producto constituye una buena fuente de estos nutrientes. Por el contrario, la vitamina C presentó un aporte muy bajo (0,06 % VD), por lo que su contribución a los requerimientos diarios es mínima.

Tabla 23

Información nutricional del extruido con mejor aceptabilidad sensorial.

VALOR NUTRICIONAL			
Nutriente	Valor diario (VD) 30 g	VD(FDA)	%VD
Materia grasa (g)	1.65	78 g	2.1 %
Proteína total (g)	4.45	50 g	8.9 %
Carbohidratos (g)	19,68	275 g	7.15 %
Energía total (kcal)	111.41	2000 kcal	5.57 %
Fosforo (mg)	146.61	1250 mg	11.72 %
Hierro (mg)	0.90	18 mg	4.99 %
Magnesio (mg)	58.18	420 mg	13.85 %
Vitamina C (mg)	0.06	90 mg	0.06 %
Vitamina A (mg)	0.135	0.9 mg	15 %

FUENTE: Elaboración propia.

El extruido tiene un gran porcentaje de nutrientes que lo clasifican como una buena fuente de acuerdo con los criterios de porcentaje del valor diario establecido por Food and Drug Administration (2023).

4.10 Microestructura

Se observa que la F4 (5.26% Fenogreco, 63.16% Quinoa Roja y 31.58% Quinoa Negra) tiene una porosidad mayor en la muestra extruida y en la F8 (6.67% Fenogreco, 53.33 % Quinoa Roja y 40% Quinoa Negra) la porosidad es menor, lo que indica que el índice de expansión y textura del extruido son menores. Las formas de los poros de la F8 se aprecian más deformadas y en la F4 mas uniformes. En cuanto al tamaño de poro se observa que la F8 tiene poros más grandes y la F4 tiene poros más pequeños.

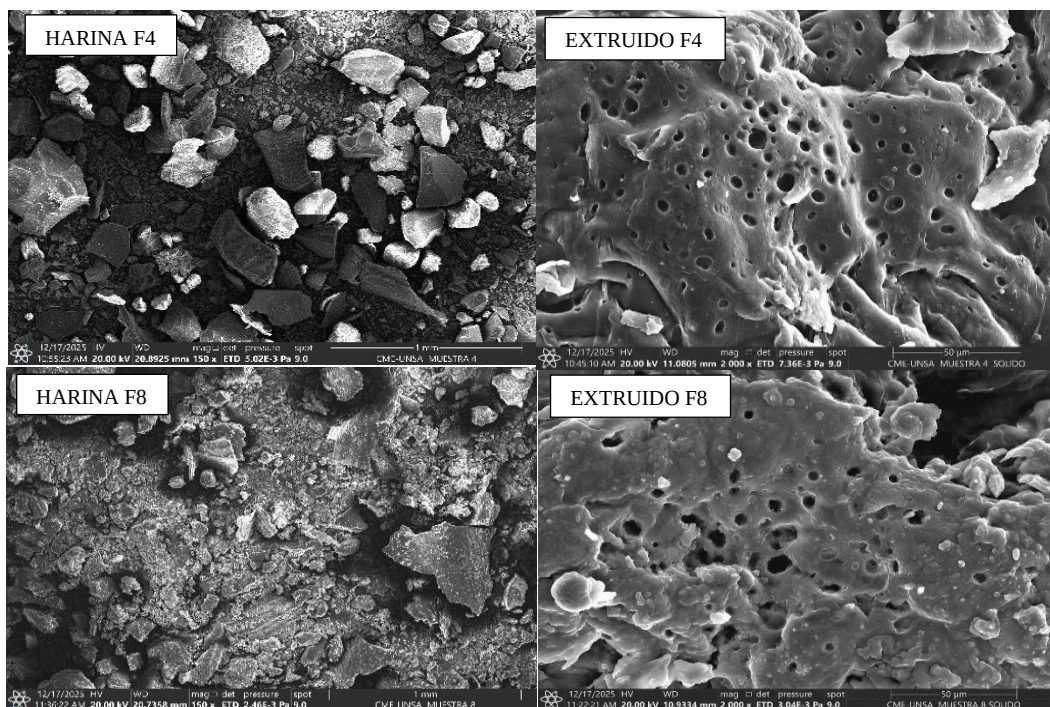


Figura 24 SEM formulación F4 harina y extruido.

Según Altan et al. (2008), el aumento del contenido de proteína en mezclas extruidas disminuye significativamente la expansión radial y aumenta la densidad del producto, debido a que la proteína afecta la gelatinización del almidón y limita la formación de estructuras porosas. Asimismo, Celnik et al. (2012), reportaron que proteínas actúan como agentes que debilitan la formación de poros uniformes, formando poros deformes y malformadas.

Según, Qiu et al. (2024), indica que la porosidad y el tamaño de los poros dependen de cómo el almidón se gelatiniza. Durante la extrusión, el almidón modifica su estructura por efecto del calor, la presión y la humedad, formando una red que proporciona soporte al extruido. Si esta red no es lo suficientemente fuerte y uniforme, las burbujas de vapor se unen entre sí y producen poros más grandes, deformados o colapsados, como se observó en la formulación F8 (6.67% Fenogreco, 53.33 % Quinua Roja y 40% Quinua Negra).

Los galactomananos del fenogreco favorecen la retención de agua y una estructura porosa más uniforme; en exceso, pueden aumentar la viscosidad y deformar los poros (Guy, 2001).

Comparación de parámetros de porosidad

En los parámetros de microestructura en la Tabla 24. se muestra que la F4 (5.26% Fenogreco, 63.16 % Quinoa Roja y 31.58% Quinoa Negra) y F8 (6.67% Fenogreco, 53.33 % Quinoa Roja y 40% Quinoa Negra) La muestra F8 presentó mayor número y diámetro promedio de poros, mientras que F4 mostró mayor área porosa total, área promedio por poro y porcentaje de porosidad (27.53 % frente a 22.29 %).

Tabla 24

Comparación de los parámetros de porosidad.

Parámetro	Muestra F4	Muestra F8
Número de poros analizados	100	108
Diámetro equivalente promedio	0.340 μm	0.417 μm
Diámetro mínimo	0.112 μm	0.167 μm
Diámetro máximo	1.054 μm	1.346 μm
Área porosa total	11.09 μm^2	9.796 μm^2
Área total analizada	40.27 μm^2	43.95 μm^2
Área promedio por poro	0.111 μm^2	0.091 μm^2
Porosidad	27.53 %	22.29 %

FUENTE: Elaboración propia.

Muñoz et al. (2024), en los productos extruidos, la formación de poros ocurre principalmente debido a la rápida evaporación del agua cuando el material atraviesa la boquilla y se produce una disminución de presión. Este fenómeno favorece la generación y expansión de celdas de aire dentro de la matriz del producto. En el caso de los extruidos elaborados a base de quinoa, se ha evidenciado que el proceso de expansión origina una estructura interna caracterizada por la presencia de poros con diferentes tamaños y distribución. Según Ramos et al. (2013), la presencia de poros de distintos tamaños es característica del proceso de extrusión. La temperatura, humedad y condiciones mecánicas influyen en su formación y distribución, mientras que procesos más intensos pueden generar estructuras con mayor porosidad y modificar el tamaño de las cavidades.

Zapana et al. (2020), Señala las condiciones de extrusión influyen notablemente en el tamaño de las cavidades, ya que factores como la temperatura, humedad y composición de la matriz regulan la formación y expansión de las celdas. En productos extruidos de quinua, se han observado poros de distintos tamaños, lo que demuestra el efecto del procesamiento sobre su estructura interna. Torres et al. (2021), menciona que la estructura interna de los productos extruidos está determinada por la formación y expansión de las celdas durante el procesamiento. Una estructura más abierta contiene mayor cantidad de espacios vacíos, mientras que una estructura compacta presenta menor presencia de cavidades. Asimismo, las condiciones de extrusión influyen en la organización celular y en la distribución de los poros. Zapana et al. (2020), indica la formación de poros pequeños y grandes es propia de los productos extruidos, ya que durante la expansión las celdas pueden aumentar de tamaño, unirse entre sí o mantenerse pequeñas según las condiciones del proceso.

Distribución de tamaño de poros

F4 presentó un predominio de poros menores a 0,25 μm (58 %), mientras que F8 concentró principalmente poros de 0,25-0,50 μm (37,96 %). En F4, los poros de 0,25-0,50, 0,50-0,75, 0,75-1,00 y >1,00 μm representaron 20 %, 10 %, 6 % y 6 %, respectivamente; en F8, estos correspondieron a 31,48 %, 19,44 %, 9,26 % y 1,85 %. En general, F4 presentó mayor predominio de poros pequeños, mientras que F8 mostró mayor concentración de poros intermedios, como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25

Comparación de distribución de tamaño de poros.

Intervalo de tamaño	Muestra F4	Muestra F4	Muestra F8	Muestra F8
< 0.25 μm	58	58.00 %	34	31.48 %
0.25-0.50 μm	20	20.00 %	41	37.96 %
0.50-0.75 μm	10	10.00 %	21	19.44 %
0.75-1.00 μm	6	6.00 %	10	9.26 %
> 1.00 μm	6	6.00 %	2	1.85 %
Total	100	100.00 %	108	100.00 %

FUENTE: Elaboración propia.

De acuerdo con Zambrano et al. (2022), según su estudio de microestructura de productos expandidos, los extruidos generalmente presentan una amplia variedad de tamaños de poros, aunque los poros pequeños pueden constituir la mayor parte de la estructura celular, mientras que los poros de mayor tamaño aparecen en menor proporción y pueden estar relacionados con sitios de nucleación o aire atrapado en la matriz. Según Butt et al. (2018), señala que las condiciones de extrusión pueden modificar tanto el tamaño de las celdas como el espesor de las paredes celulares, debido a los cambios de presión y temperatura que ocurren durante la transformación de la masa y la expansión a la salida de la boquilla. Zambrano et al. (2022), Estos cambios en la distribución de los poros son relevantes porque la estructura celular se encuentra relacionada con propiedades físicas y mecánicas del producto, como la densidad, expansión y textura.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se concluye, que las mejores condiciones de extrusión mediante la función de deseabilidad, fueron 12% de humedad y 150 °C de temperatura, con una velocidad de tornillo de 365 rpm, bajo las cuales el modelo predijo un índice de expansión (IE) de 2,289. Al comparar este valor experimental obtenido en el tratamiento T3 (IE=2.270), se obtuvo una diferencia relativa de 0.83%, inferior al 5% establecido como criterio de aceptación. Por tanto, se confirma la adecuada capacidad predictiva del modelo para determinar las mejores condiciones del proceso de extrusión.

Se evaluó el efecto de las formulaciones de harina de fenogreco, quinua roja y quinua negra sobre la aceptabilidad sensorial del extruido. Las formulaciones que alcanzaron la mayor aceptabilidad fueron F4, (5,26 % de fenogreco, 63,16 % de quinua roja y 31,58 % de quinua negra), y F8, (6,67 % de fenogreco, 53,33 % de quinua roja y 40,00 % de quinua negra). El análisis estadístico determinó que las harinas de fenogreco y quinua negra presentaron un efecto significativo sobre la aceptabilidad sensorial ($p < 0.05$), la hipótesis se acepta debido a que solo las harinas de fenogreco y quinua negra mostraron un efecto significativo sobre la aceptabilidad sensorial del extruido.

Se caracterizó la composición nutricional y microestructural de los extruidos F4 y F8. En ambas formulaciones, después de la extrusión se observó una disminución de humedad, cenizas, proteínas, grasas y micronutrientes. En F4, la proteína disminuyó de 16,71 a 14,83 g/100 g, el hierro de 36,20 a 29,98 mg/kg y el magnesio de 217,41 a 193,95 mg/100 g; mientras que en F8, la proteína disminuyó de 16,09 a 14,40 g/100 g, el hierro de 40,21 a 32,06 mg/kg y el magnesio de 224,17 a 201,42 mg/100 sin embargo los carbohidratos aumentaron de 62,25 a 65,62 g/100 g en F4 de 63,36 a 66,36 g/100 g en F8, manteniéndose el valor energético estable. En cuanto a la microestructura, F4 presentó predominio de poros menores de 0.25 μm (58%), mientras que F8

presento mayor proporción de poros de 0,25-0,50 μm (37,96%). Por tanto, se evidenciaron diferencias en la composición nutricional y en la distribución del tamaño de poros en ambas formulaciones.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un proceso de desamargado del fenogreco, mediante remojo, con el fin de reducir compuestos responsables del sabor amargo y mejorar la aceptabilidad sensorial del extruido.
- Se sugiere utilizar bajas cantidades de hasta el 5 % harina de fenogreco en la formulación, debido a su impacto en el sabor y por su contenido de galactomananos que influyen en la estructura de los poros.
- Se recomienda que los rangos del rpm tengan diferencias mínimo de 100 rpm aproximadamente del valor central para que tengan un nivel de significancia.
- Se recomienda controlar y estandarizar el tamaño de partícula (μm) de las harinas mediante tamizado, debido a su influencia en la absorción de agua y el comportamiento durante la extrusión.
- Se recomienda evaluar el efecto del almacenamiento de las harinas antes de la extrusión, ya que cambios en humedad y oxidación pueden afectar la calidad del extruido.
- Se recomienda medir y controlar el contenido de humedad de la mezcla antes del proceso de extrusión utilizando equipos como higrómetros o analizadores de humedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abugoch James, L. E. (2009). *Chapter 1 Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)* (pp. 1–31).
[https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)58001-1](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58001-1)
- Alsebaei, M., Alfawaz, M., Fatma, S., Sciences, A., Arabia, S., & Arabia, S. (2017).
Physicochemical characteristics and nutritional value of fenugreek seeds and seed oil. 52–
55.
- Altan, A., McCarthy, K. L., & Maskan, M. (2008). Evaluation of snack foods from barley–tomato
pomace blends by extrusion processing. *Journal of Food Engineering*, 84(2), 231–242.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.05.014>
- Alu’datt, M. H., Rababah, T., Al- ali, S., Tranchant, C. C., Gammoh, S., Alrosan, M., Kubow, S.,
Tan, T., & Ghatasheh, S. (2024). Current perspectives on fenugreek bioactive compounds
and their potential impact on human health: A review of recent insights into functional
foods and other high value applications. *Journal of Food Science*, 89(4), 1835–1864.
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.16970>
- Ananda, M. (2022). *Evaluación de las propiedades antiarrugas e hidratación de una crema facial
formulada a partir del extracto de las semillas de fenogreco (Trigonella foenum-graecum
L.)*. 9, 356–363.
- AOAC. (2023). *Phosphorus in Infant Formula and Enteral Products: Spectrophotometric Method*.
22.
- AOAC 985.33, A. infantiles. V. C. (2023). The Moderating Effect of Corporate Governance in the
Relationship Women Owned Enterprises: A Proposed Conceptual Framework. *Fudma*

Journal of Management Sciences, 6(2), 167–186.

AOAC 992.06 Vitamin A, R. (2023). *Metodos De Analisis Y De Muestreo Recomendados Codex Stan 234-1999 Primera Parte. Codex Alimentarius*, 3–85.

Arone Espinoza, J. (2016). Universidad Nacional De San. *Universidad Nacional de San Martín*, 1, 1–125.

Atalaya, N. (2024). “Universidad Nacional De Cajamarca” Universidad Nacional De Cajamarca".
In *Universidad Nacional de Educación*.
[https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/5165/Tesis Lorena Medina.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/5165/Tesis_Lorena_Medina.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Atlaw, T. K. (2018). *Effect of Germination on Nutritional Composition and Functional Properties of Fenugreek (Trigonella foenum-graecum Linn) Seed Flour*. 76, 18–23.

Bakhtiar, Z., & Hassandokht, M. (2024). Variability in proximate composition , phytochemical traits and antioxidant properties of Iranian agro - ecotypic populations of fenugreek (Trigonella foenum - graecum L .). *Scientific Reports*, 1–13.
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-50699-9>

Basilio, J. (2020). “*Obtención de una mezcla alimenticia a partir de quinua (Chenopodium quinoa) y kiwicha (Amaranthus caudatus) extruidas, y tarwi (Lupinus mutabilis).*” 10–12.

Bouvier, J., & Campanella, O. H. (2014). *Extrusion Processing Technology*. Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781118541685>

Bravo, E. N., & Ortega, J. F. (2017). “*Efecto de la granulometría y formulación en la calidad de un snack extruido a base de arroz (Oryza sativa L.), quinua (Chenopodium quinoa willd.)*

y torta desgrasada de chía (Salvia hispanica L.). ” 1–167.

- Bressani, R. (2008). *Cocción por extrusión de alimentos complementarios a base de maíz y leguminosas de grano secas, maduras e inmaduras sobre su valor tecnológico y nutritivo*. 01, 48. http://biblioteca.galileo.edu/tesario/bitstream/123456789/461/1/Informe_Final_Proyecto_Extrusion_Version_Junio_2016.pdf
- Buba, F., Ngura, U., & Abdulrahman, A. A. (2015). *Studies on the physicochemical properties of fenugreek (Trigonella Foenum-Graecum L .) seeds*. 7(3), 104–107.
- Butt, S., Mohammed, I., Raghavan, V., Osborne, J., Powell, H., & Charalambides, M. N. (2018). Quantifying the differences in structure and mechanical response of confectionery products resulting from the baking and extrusion processes. *Journal of Food Engineering*, 238(June), 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.05.039>
- Campos, J., Acosta-Coral, K., & Paucar-Menacho, L. M. (2022). Quinoa (Chenopodium quinoa): Nutritional composition and bioactive compounds of grain and leaf, and impact of heat treatment and germination. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 209–220. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019>
- Carrasco, R., Pilco, J. J., & Encina-Zelada, C. R. (2011). Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y maíz (Zea mays L.). *Ingeniería Industrial*, 0(029), 207. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.235>
- Carvajal, S. (2018). *Efecto de los parámetros de extrusión sobre la calidad nutricional y textura de la mezcla de maíz (Zea mays), Fréjol (Phaseolus vulgaris) y Camote (Ipomea batata) en el snack*. 165.

- Celnik, D., Gillespie, L., & Lean, M. E. J. (2012). Time-scarcity, ready-meals, ill-health and the obesity epidemic. *Trends in Food Science & Technology*, 27(1), 4–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.001>
- Cerón, C. (2016). *Características físico-químicas (chenopodium quinoa willd) effect of extrusion on the physicochemical characteristics of quinoa flour (chenopodium quinoa willd) efeito da extrusão sobre as características físico-químicas (chenopodium quinoa willd)*. 14(2), 92–99. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)92-99](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)92-99)
- Cervera, P. (1983). Tablas de composición de alimentos. In *Revista de enfermería (Barcelona, Spain)* (Vol. 6, Issue 56).
- Chatain, C., Pernollet, M., Pralong, P., & Leccia, M. T. (2019). Anaphylaxie alimentaire au Quinoa. *Revue Française d'Allergologie*, 59(3), 243–244. <https://doi.org/10.1016/j.reval.2019.02.021>
- Chen, J., Liu, Q., Zhao, S., Guo, L., Zhuang, X., Chen, X., Tao, T., & Ding, C. (2025). Effect of extrusion processing on the structural, functional, and physicochemical properties of wheat and wheat-based products: A review. *Food Physics*, 2(September 2024), 100050. <https://doi.org/10.1016/j.foodp.2025.100050>
- Clavero, N. (2007). *Proceso de extrusion de pelicula soplada a base de polipropilenos. (Mezclas)*.
- Creswell, J. (1994). Universidad de Buenos Aires. In *Universidad de Buenos Aires*.
- Cuggino, M. I. (2008). Desarrollo de alimentos precocidos por extrusion a base de maíz leguminosa. *Dialnet*, 1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=367954&info=resumen&idioma=SPA%0>

A<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=367954&info=resumen&idioma=ENG%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=367954>

- Del Campo, T. (2018). Estudio de las variables de proceso de la extrusión termoplástica para obtener snacks expandidos de harina de tarwi (*lupinus mutabilis*) y pecana (*carya illinoensis*). In *Respiratory Medicine Case Reports* (Issue February). <https://hdl.handle.net/20.500.14308/6023>
- Ding, Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., & Marson, H. (2006). The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 73(2), 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.013>
- Efobi, U., Belmondo, T., Orkoh, E., Atata, S. N., Akinyemi, O., & Beecroft, I. (2019). Environmental pollution policy of small businesses in Nigeria and Ghana: extent and impact. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(3), 2882–2897. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3817-x>
- Espinoza C., K., Roldan A., D., & Martínez O., N. (2021). Elaboración de snack extruido a partir de cereales y concentrado de proteína de pota (*dosidicus gigas*) y determinación de su vida útil. *Anales Científicos*, 82(1), 180. <https://doi.org/10.21704/ac.v82i1.1755>
- Esteller, M. S., & Lannes, S. C. da S. (2005). Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25(4), 802–806. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612005000400028>
- FAO. (2026). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*:

- Alimento nutritivo | Plataforma de información de la quinua | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.* <https://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/alimento-nutritivo/es/>
- Farjardo, D. A. (2014). *Análisis sensorial de un alimento con Umami, para ser utilizado como alternativa saborizante en la disminución de la ingesta de sodio.* 1–70.
- Fernández, Z. (2014). *Elaboración de un producto extruido en base a harinas de algarroba (Prosopis pallida), arroz (Oriza sativa) y maíz amarillo duro (Zea mays L.).* <https://hdl.handle.net/20.500.12893/143>
- Flores, N. (2015). *Entrenamiento de un Panel de Evaluación Sensorial, para el Departamento de Nutrición de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile. Universidad De Chile Facultad De Ciencias Químicas Y Farmacéuticas,* 1–97.
- Food and Drug Administration. (2023). *Valor diaria y porcentaje de valor diario en las etiquetas de información nutricional y complementaria.* 1–4. www.FDA.gov/NutritionFactsLabel
- Galarza, R., & Cairo, Y. (2013). *Calidad nutricional de un producto extruido fortificado con dos niveles de hierro, proveniente de harina de sangre bovina. Anales de La Facultad de Medicina,* 73, 67. <https://doi.org/10.15381/anales.v73i1.2266>
- Gong, J., Fang, K., Dong, H., Wang, D., Hu, M., & Lu, F. (2016). *Effect of fenugreek on hyperglycaemia and hyperlipidemia in diabetes and prediabetes: A meta-analysis. Journal of Ethnopharmacology,* 194, 260–268. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.08.003>
- Gonzales, S. (2024). *Estudio de las variables de proceso de la extrusión termoplástica para obtener snacks expandidos de harina de tarwi (lupinus mutabilis) y pecana (carya*

- illinoensis*). <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3454>
- Guy, R. (2001). Extrusion cooking: technologies and applications. *Woodhead Publishing*, 61.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptisa Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6th ed.). McGraw-Hill Education.
- Hina, S., Mustafa, S., Ismail, A. M., Mahmood, S., Matar, A., Alharbi, A. S., Saleh, H. A. F., & Ge, W. (2025). Therapeutic and protective valuation of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). *Italian Journal of Food Science*, 37(3), 1–17. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v37i3.2876>
- Huamani. (2019). *Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga Facultad De Ingeniería Química Y Metalurgia "Efecto De La Humedad Del Grano Y Presión*.
- Huamani, H. A. L., Ponce, Ramírez, J. C., & Málaga, Juárez, J. (2020). Optimization of the quinoa cooking process using the 3k design and the desirability function: Degree of gelatinization, water absorption index, solubility index and cotyledon detachment. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 381–390. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.10>
- INACAL. (2018a). *Cereales y legumbres. Determinacion de materia grasa*. <https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/detalle.aspx?id=24698&idtv=6138>
- INACAL. (2018b). *Cereales y menestras. Cereales. Determinación de proteínas totales (Metodo Kjendahl)*. 13.
- INACAL. (2021). *Cereales y legumbres. Determinación del contenido de humedad. Metodo rutina*. 15. <https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/detalle.aspx?id=34481&idtv=9280>

- INACAL. (2022). *Cereales y leguminosas determinación de cenizas-NTP 205.004 2022*. 12.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/detalle.aspx?id=34668&idtv=9448>
- INEI. (2022). Boletín INEI te Informa. *Instituto Nacional de Estadística e Informática*, 14.
- INIA, I. de I. A. (2006). *QUINUA*.
- Jan, R., Saxena, D. C., & Singh, S. (2017). *Original Article Effect of extrusion variables on antioxidant activity , total phenolic content and dietary fibre content of gluten-free extrudate from germinated Chenopodium (Chenopodium album) flour*. 2623–2630.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.13549>
- Kamau, E. H., Nkhata, S. G., & Ayua, E. O. (2020). Extrusion and nixtamalization conditions influence the magnitude of change in the nutrients and bioactive components of cereals and legumes. *Food Science and Nutrition*, 8(4), 1753–1765. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1473>
- Kehinde. (2016). Engineering Review Food Extrusion Technology and Its Applications. *Journal of Food Science and Engineering*, 6(3), 149–168. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2016.03.005>
- Khorshidian. (2016). *Alholva : posibles aplicaciones como alimento funcional y nutraceutico*
Introducción. 3(1), 5–16.
- Kochhar, A., Nagi, M., & Sachdeva, R. (2006). *Proximate Composition , Available Carbohydrates , Dietary Fibre and Anti Nutritional Factors of Selected Traditional Medicinal Plants*. 19(3), 195–199.
- Koehler, L. (1887). *Medicamentos Herbolarios Fenogreco*. 73–74.

- Kour, J., Singh, S., & Chandra Saxena, D. (2022). Retention of bioactive compounds during extrusion processing and storage. *Food Chemistry: X*, 13, 100191. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100191>
- Kowalski¹, R. J., Gabriela¹, M.-M. I., Thapa¹, B. B., , Kevin M. Murphy, G. M., & * G. (2016). *Extrusion processing characteristics of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) var. Cherry 2 Vanilla.*
- Kuktaite, R., Repo-Carrasco-Valencia, R., de Mendoza, C. C. H., Plivelic, T. S., Hall, S., & Johansson, E. (2022). Innovatively processed quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) food: chemistry, structure and end-use characteristics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(12), 5065–5076. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11214>
- Lampi, A.-M., Damerau, A., Li, J., Moisisio, T., Partanen, R., Forssell, P., & Piironen, V. (2015). Changes in lipids and volatile compounds of oat flours and extrudates during processing and storage. *Journal of Cereal Science*, 62, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.12.011>
- Lantes, Ó., Prieto, P., & Martínez, A. (2011). Aplicación de la Microscopía Electrónica de Barrido al estudio de los acabados de la cerámica antigua de Galicia. *Gallaecia*, 117–125.
- Laureano. (2018). Influencia de la Temperatura de Extrusion en la calidad de un Snack elaborado a base de Pallar (Phaseolus lunatus) y Arroz (Oryza sativa). In *Universidad Nacional Del Santa Facultad De Ingeniería Escuela Profesional De Ingeniería Agroindustrial “Influencia.*
- Lei, H., Ruan, R., Fulcher, R. G., & Lengerich, B. Van. (2008). *Color development in an extrusion-*

- cooked model system*. 1(2), 55–63. <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2008.02.055-063>
- Li, S., Yan, C., Xia, Y., Ai, L., Zhai, Q., & Yang, Y. (2026). Synergistic effects of red quinoa co-fermentation on phenolic enrichment, free amino acid profiles, and volatile flavor characteristics in Huangjiu. *Food Bioscience*, 79, 108801. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2026.108801>
- Llavata, B. (2019). Efecto de la adición de fenogreco en pasta fresca sin gluten: propiedades físicas, químicas, aceptación sensorial e índice glicémico. *RiuNet*, 0(0), 5–9.
- Lopez, D. (2011). *RI001051.pdf* (p. 57).
- Madeneni. (2021). *Fenugreek (Trigonella foenum-graecum L.) seed: promising source of nutraceutical* (pp. 141–184). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91095-8.00014-3>
- Manosalvas, A., Taimal, R., & Villacrés, E. (2019). Efecto de la humedad de alimentación y temperatura de extrusión sobre el contenido nutricional de un snack a base de maíz, chocho y papaO. *Revista Bases de La Ciencia*. e-ISSN 2588-0764, 4(3), 67–80.
- Manuel, V., & Valdéz, M. (2011). *Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Química*.
- Medical, G. (2018). Módulo 1 : Nutrición Y Los Nutrientes. *Alimentacion Saludable En La Población Adulta, Conceptos y Consejos Para Conocer Una Alimentación Cardiosaludable*, 39.
- Meza, R. (2013). *Elaboración de un alimento por extrusión a base de maíz chuncho (Zea mays) y frijol Chiclayo (Vigna unguiculata)*. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1507>

- MINSA. (2026). *indicadores del estado nutricional de adolescentes de 12 a 17 años en el Perú*.
<https://www.gob.pe/institucion/ins/informes-publicaciones/8312357-indicadores-estado-nutricional-adolescentes-12-17-anos-abril-2026-base-datos-his>
- Miranda, A. C. (2011). Tesis de grado. *Biomédica*, 31(sup3.2), 425.
<https://doi.org/10.7705/biomedica.v31i0.529>
- Mironeasa, S., Coțovanu, I., Mironeasa, C., & Ungureanu-Iuga, M. (2023). A Review of the Changes Produced by Extrusion Cooking on the Bioactive Compounds from Vegetal Sources. *Antioxidants*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/antiox12071453>
- Molina. (2016). *Ingeniería En Alimentos* [Universidad tecnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2a164aba-6eca-4469-882b-18b39acd3ba8/content>
- Muñoz, K., Roa, D., & Bravo, J. (2024). *Heliyon Second-generation snacks prepared from quinoa with probiotic . Physicochemical properties , in vitro digestibility , antioxidant activity and consumer acceptability*. 10(July). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36525>
- Muñoz, Roa, Hoyos, & Bravo. (2022). Quinoa Snack Production at an Industrial Level: Effect of Extrusion and Baking on Digestibility, Bioactive, Rheological, and Physical Properties. *Foods*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/foods11213383>
- Murillo, R. G. (2020). *Aplicación de la tecnología de extrusión en productos con alto contenido en proteína*. 43. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/150018>
- Naumann, S., Schweiggert-Weisz, U., Martin, A., Schuster, M., & Eisner, P. (2021). Effects of extrusion processing on the physiochemical and functional properties of lupin kernel fibre.

- Food Hydrocolloids*, 111, 106222. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106222>
- Néder, D., Quintero, A., & Amaya, C. (2016). Efecto De La Extrusión-Cocción En La Formación De Almidón Resistente. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 36–41. <http://eprints.uanl.mx/23483/1/95.pdf>
- Niu, R., Wang, J., Zhou, J., Cheng, H., Chen, J., Wang, W., Liu, D., & Xu, E. (2024). Extrusion-controlled lipid retention and distribution of wheat germ and its application combining exogenous starch. *Journal of Food Engineering*, 379, 112128. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2024.112128>
- NOM. (1994). *Bienes y Servicios. Método de Prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.*
- Oliva, F., & Adalberto, H. (2016). *Efecto de la temperatura y velocidad de rotación del tornillo en el proceso de extrusión de maíz, quinoa y avena para la elaboración de harina pregelatinizada.*
- OMS. (2026). *La malnutrición es uno de los problemas de desarrollo más graves del mundo y al que se ha prestado menos atención. Sus costos humanos y económicos son enormes y afectan más a los pobres, las mujeres y los niños.* <https://www.bancomundial.org/es/topic/nutrition/overview>
- Onuh, J., Idoko, G., Yusufu, P., & Onuh, F. (2017). Comparative Studies of the Phytochemical, Antioxidant and Antimicrobial Properties of Cashew Leaf, Bark and Fruits Extracts. *American Journal of Food and Nutrition*, 5(4), 115–120. <https://doi.org/10.12691/ajfn-5->

- Ovalles, J. F., L., A. L., Vielma, R., & Medina, Y. a N. a L. (2002). Determinación del contenido de aminoácidos libres del agua de coco tierno por HPLC y Revisión electrónica sobre la nueva tecnología para el envasado del agua de coco. *Revista De La Facultad De Farmacia*, 44(1), 7–78.
- Pacheco, E., Techeira, N., & García, A. D. (2008). Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de harina extruida de ñame (*dioscorea alata*) elaboration and evaluation of powders for instant drinks based upon extruded flour of yam (*Dioscorea alata*). *Rev Chil Nutr*, 35(3), 452–459.
- Pandey H, A. P. (2015). Effect of processing techniques on nutritional composition and antioxidant activity of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). *Journal of Food Science and Technology*, 52, 1054–1060. <https://doi.org/10.1007/S13197-013-1057-0>
- Pantoja, L., Prieto-Rosales, G., & Aguirre, E. (2020). Caracterización de la harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y la harina de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) para su industrialización. *Tayacaja*, 3(1), 76–83. <https://doi.org/10.46908/rict.v3i1.72>
- Paredes, P., Alejandra Bach, M., Díaz, T., Edith, M., & Noemí León Roque, D. (2023). *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Facultad De Ingeniería Química E Industrias Alimentarias* [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. www.revistas.unitru.edu.pe
- Paucar, L. M. (2022). Universidad Nacional de Santa Chimbote-Perú. In 6 (Issue Cogeneracion de energia). <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2690/42788.pdf?sequence=1&isAllo>

wed=y%0Ahttps://www.uv.mx/personal/yvelasco/files/2012/08/Implicaciones_educativas_de_la_teoría_sociocultural_de_Vigotsky.pdf

- Perez, N. (2006). Caracterización física de extrudidos preparados con mezclas de harinas de maíz qpm (*zea mays* l.) y frijol lima (*phaseolus lunatus* l.). *Redalyc*, 5, 12. <https://www.redalyc.org/pdf/620/62050205.pdf>
- Porras, E. (2023). *optimización reológica, nutricional y sensorial de compota de annona muricata, con adición de heliocarpus americanus y miel de apis mellifera*". Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Prego, I., Maldonado, S., & Otegui, M. (1998). Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany*, 82(4), 481–488. <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0704>
- Puma. (2019). *Evaluación del efecto de la mezcla gritz de maíz Zea mays Gritz de mashua Tropaeolum tuberosum y el diámetro de la boquilla del extrusor en el proceso de extrusión*.
- Qiu, C., Hu, H., Chen, B., Lin, Q., Ji, H., & Jin, Z. (2024). *Research Progress on the Physicochemical Properties of Starch-Based Foods by Extrusion Processing*.
- Ramos, J., Kirjoranta, S., Tenitz, S., Penttilä, P. A., Serimaa, R., Lampi, A., & Jouppila, K. (2013). Use of amaranth , quinoa and kañiwa in extruded corn-based snacks. *Journal of Cereal Science*, 58(1), 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.04.003>
- Riaz, M. N., Asif, M., & Ali, R. (2009). Stability of Vitamins during Extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(4), 361–368. <https://doi.org/10.1080/10408390802067290>

- Ribeiro, G., Piñero, M., Blanco, B., & Roman, L. (2024). *Optimización de la velocidad del tornillo y la temperatura del cilindro para la mejora de la textura y el valor nutricional de los extrudidos de soja con alto contenido de humedad* .
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods13111748>
- Richter, J. K. (2022). Extrusion characteristics of ten novel quinoa breeding lines. *Journal of Food Science*, 87, 5349–5362. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16360>
- Ryu, G. H., & Walker, C. E. (1994). Estructura celular de extrudados de harina de trigo producidos con diversos emulsionantes. *LWT - Food Science and Technology*, 27(5), 432–441.
<https://doi.org/10.1006/fstl.1994.1089>
- Sahu, C., Patel, S., & Tripathi, A. K. (2022). Effect of extrusion parameters on physical and functional quality of soy protein enriched maize based extruded snack. *Applied Food Research*, 2(1), 100072. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100072>
- Santacruz, S. (2014). *Utilización de ácido láctico y harina de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) extrudida en la elaboración de pan sin gluten*.
<http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2979>
- Sharmila. (2018). *Current trends in Extrusion : Development of Functional Foods and Novel Ingredients*. 24(1). <https://doi.org/10.3136/fstr.24.23>
- 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.
- Shirani, G., & Ganesharanee, R. (2009). Extruded products with Fenugreek (*Trigonella foenum-*

- graecium) chickpea and rice: Physical properties, sensory acceptability and glycaemic index. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.004>
- Sinaki, N. Y., & Koksel, F. (2024). *Effects of dietary fibre source and content and extrusion conditions on the physicochemical composition and physical quality of fibre-enriched lentil snacks*. 2236–2248. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16943>
- Singh, Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8), 916–929. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>
- Singh, K. P., Nair, B., Jain, P. K., Naidu, A. K., & Paroha, S. (2014). Variability in the nutraceutical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seeds. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2), 228–239. <https://doi.org/10.17584/rcch.2013v7i2.2237>
- Solórzano Cruz, E. A. (2019). *Elaboración de productos a base de fenogreco (Trigonella foenum graecum) licenciado en gastronomía*. 1–99.
- Suganda, R., Sutrisno, E., & Wardana, I. W. (2018). Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Talens, P. (2014). Efecto de la concentración en el comportamiento reológico de un alimento fluido. *Tecnología de Alimentos*, 1–6.
- Tang, Y., & Tsao, R. (2017). Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review. *Molecular Nutrition*

& *Food Research*, 61(7). <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600767>

Toro, Y. M., Guerra, M., Espinoza, C., & Newman, A. (1988). Cambios en la composición proximal de harina de maíz precocida, arroz, pastas y cereales infantiles al prepararlos en el hogar para su consumo. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 24(1), 027–033. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-07522011000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Torres, O. L., Lema, M., & Galeano, Y. V. (2021). *Effect of Using Quinoa Flour (Chenopodium quinoa Willd .) on the Physicochemical Characteristics of an Extruded Pasta. 2021.*

Tovar, C., Perafan, E., Enriquez, M., Pismag, Y., & Fernandez, L. (2017). *DE EXTRUSIÓN EN HARINA DE QUINUA (Chenopodium quinoa Willd) NORMAL Y GERMINADA EXTRUSION PROCESS EFFECT EVALUATION ON NORMAL AND GERMINATED FLOUR QUINOA (Chenopodium quinoa Willd) AVALIAÇÃO DO EFEITO DO PROCESSO DE EXTRUSÃO NA FARINHA DE QUINOA (Chen. 15(2), 30–38.* [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(15\)30-38](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(15)30-38)

Tura, A. M., Debisa, M. D., Tulu, E. D., & Tilinti, B. Z. (2023). Evaluation of Proximate, Phytochemical, and Heavy Metal Content in Black Cumin and Fenugreek Cultivated in Gamo Zone, Ethiopia. *International Journal of Food Science*, 2023, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2023/3404674>

Valls, P. (1993). El Proceso De Extrusión En Cereales Y Habas De Soja. Experiencias Prácticas. *IX Curso de Especialización FEDNA*, 1–5.

Vera, H. C. (2008). *Evaluación Sensorial* (Vol. 1, Issue Mexico D.F.) [Universidad Nacional

Abierta y a Distancia]. [https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/14592/HAYDEE VERA INFORME FINAL.pdf](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/14592/HAYDEE%20VERA%20INFORME%20FINAL.pdf)

Verona Ruiz, A. (2022). *Extruido de grits de maíz (Zea mays) con harinas de quinua (Chenopodium quinoa) y kiwicha (Amarantus caudatus) germinadas*. Universidad Nacional de Santa.

Vilcacundo, R., & Hernández, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). *Current Opinion in Food Science*, 14, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>

Wani, S. A., Muzaffar, K., & Kumar, P. (2016). Physical and functional characteristics of extrudates prepared from fenugreek and oats. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1178058>

Zambrano, Y., Contardo, I., & Bouchon, P. (2022). *Effect of Extrusion Temperature and Feed Moisture Content on the Microstructural Properties of Rice-Flour Pellets and Their Impact on the Expanded Product*.

Zapana, F., Bruijn, J. De, Vidal, L., Mel, P., Gonz, E., Cabrera, G., Williams, P., & Rodrigo, B. (2020). *Original Article Physical , chemical and nutritional characteristics of puffed quinoa*. 313–322. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14290>

ANEXO 1 *Matriz de consistencia.*

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL				
¿Cuáles serán las mejores condiciones de humedad, temperatura y rpm en el proceso de extrusión, así como de la incorporación de harinas de fenogreco, quinua negra y quinua roja, sobre la aceptabilidad sensorial, la caracterización nutricional y la microestructura del extruido?	Determinar las mejores condiciones de humedad, temperatura y rpm en el proceso de extrusión, y el efecto de la harina de fenogreco, quinua negra y quinua roja en la aceptabilidad sensorial, caracterización nutricional y microestructural.	Las condiciones de humedad, temperatura y rpm influyen en el proceso de extrusión, y las harinas de fenogreco, quinua negra y quinua roja tendrán efecto en la aceptabilidad sensorial, caracterización nutricional y microestructura.				
PROBLEMA EPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICOS				
¿Cuáles serán las mejores condiciones de humedad, temperatura y rpm en el proceso de extrusión?	Determinar las mejores condiciones de humedad, temperatura y rpm en el proceso de extrusión.	La humedad, temperatura y el rpm influyen significativamente en la determinación de las mejores condiciones de extrusión.	Variable Independiente - Humedad - Temperatura - Revoluciones por minuto	-(12% -17%) -(130°C-150 °C) -(300-400) rpm	Parámetros en el extrusor	- H - °C - Rpm
			Variable Dependiente - Textura - Color - Humedad - Índice de solubilidad (ISA) - Índice de absorción (IAA) - Índice de expansión (IE)	Implica las Características físico-mecánicas y tecno funcionales		- (N) - L*A*B - H - % - g gel/g muestra - %

¿Cuáles serán los efectos de las harinas de fenogreco, quinua negra y quinua roja en la aceptabilidad sensorial del extruido nutritivo?	Evaluar el efecto de harina de fenogreco, quinua negra y quinua roja en la aceptabilidad sensorial de los extruidos nutritivos.	Las harinas de fenogreco, quinua negra y quinua roja tendrán efecto en la aceptabilidad sensorial del extruido nutritivo.	Variable Independiente - Harina de fenogreco - Harina de quinua roja - Harina de quinua negra	- (5-9) % - (40-60) % - (30-32) %	Porcentajes de Harinas	- %
			Variable Dependiente - Aceptabilidad Sensorial (Color, sabor y Apariencia global)	Grado de satisfacción del consumidor evaluado mediante pruebas afectivas.	Atributos sensoriales	Escala Hedónica (1-5)
¿Cuáles serán las características nutricionales y microestructurales de los extruidos nutritivos con mayor aceptabilidad?	Analizar la caracterización nutricional y microestructura de los extruidos nutritivos con mayor aceptabilidad sensorial.	Los extruidos con mayor aceptabilidad sensorial tienen una diferencia significativa en la caracterización nutricional y microestructural.	Variable Independiente - Extruidos nutritivos con mayor aceptabilidad	- X1 y X2		
			Variable Dependiente - Macronutrientes (Carbohidratos, Proteínas y Grasas) - Micronutrientes (Vitaminas y Minerales) - Microscopia Electrónica de Barrido (Tamaño Y Forma)	Valor nutricional y Análisis morfológicos	Mejores muestras	- % Proteína, % Grasa, % Fibra -mg/100g (Vitaminas/Minerales) - Diámetro de poro (µm)

ANEXO 2 *Determinación de cenizas.*

Procedimiento

- La determinación de cenizas se efectuó mediante incineración en mufla, siguiendo métodos oficiales.
- Los crisoles fueron acondicionados previamente en un horno de mufla a 575 °C durante 15 minutos, enfriados hasta llegar a la temperatura ambiente en un deshidratador y pesados con una balanza analítica calibrada (± 0.001 g).
- Se pesaron entre 2 y 4 g de muestra en cada crisol, según el contenido esperado de cenizas (>1 %).
- Las muestras se incineraron en una mufla a 575 ± 25 °C hasta obtener cenizas claras y peso constante, evitando su fusión.
- Luego, los crisoles se enfriaron en desecador y se pesaron nuevamente.
- Cada determinación se realizó en duplicado, y los resultados se expresaron como media $\pm$ desviación estándar.
- Para garantizar la fiabilidad de los resultados, se utilizó equipo calibrado y se tuvo en cuenta la incertidumbre vinculada a las mediciones de temperatura y masa.

Expresión de los resultados

Calculamos la cantidad de ceniza en % mediante la siguiente formula.

$$C = 100 \times \frac{M_2 - M_1}{M}$$

Donde:

- **C:** porcentaje de cenizas (% en base a 100 g de muestra).
- **M:** masa correspondiente a la muestra (g).
- **M₁:** masa del crisol vacío (g).
- **M₂:** masa del crisol que contiene las cenizas (g).

ANEXO 3 *Determinación de humedad.*

Se utilizó el método de secado en estufa según NTP 205.002:2021. INACAL 2021.

Equipos y materiales

- **Balanza analítica:** con una precisión de ± 0.1 mg y calibrada previamente.
- **Molino de laboratorio:** Permite obtener un producto que supera el número 0.841 mm. 20 tamiz, con el fin de reducir el contacto con la atmósfera y asegurar un molido rápido y uniforme sin producir una cantidad significativa de calor.
- **Placa metálica o de vidrio térmico:** Con un diámetro de aproximadamente 55 mm y una altura de 15 mm, con resistencia a la corrosión y tapa.
- **Estufa de calentamiento eléctrico:** permite mantener una temperatura interna de $130\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y cuenta con adecuada ventilación para favorecer la circulación del aire.
- **Desecador:** equipado con una placa metálica o de porcelana gruesa perforada, que contiene un deshidratante o desecante apropiado.

Preparación de muestra para ensayo

- Se muele la muestra, de manera que el 99 % de las partículas pasen por el tamiz de 0.841 mm (N°20) asegurando homogeneidad

Procedimiento:

- Se pesaron alrededor de 5 g de muestra en una placa previamente secada y tarada, con un analizador de balanza calibrado.
- La muestra se colocó en el horno a $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante una hora, empezando desde que la temperatura establecida fue alcanzada.
- A continuación, se retiró la placa del horno y se cubrió. Luego, se dejó en un deshidratador hasta que alcanzara la temperatura ambiente (entre 45 y 60 minutos).
- Por último, se anotó la masa de la muestra seca.

Muestras con contenido de humedad $> 16\%$

- En una placa previamente seca y tarada, se pesaron cerca de 8 g de muestra, con una precisión de 0.1 mg.

- La muestra se secó en estufa hasta disminuir su contenido de humedad por debajo del 16 %.
- La muestra secada fue molida, procurando que el 99 % de las partículas atravesara el tamiz de 0,841 mm N.º 22.
- Posteriormente, se dejó enfriar a temperatura ambiente, se molió nuevamente hasta alcanzar el tamaño requerido y se aplicó el procedimiento correspondiente a muestras con humedad ≤ 16 %.
- Todos los resultados se expresaron como media $\pm$ desviación estándar y fueron realizados por duplicado.
- Los equipos utilizados fueron previamente calibrados y se consideró la incertidumbre asociada a las mediciones de masa y temperatura.
- La precisión del método se comprobó verificando que la diferencia entre las determinaciones no superara el 0,2 % de humedad.

$$H(G/100 G) = \frac{M - M_1}{M} \times 100$$

- **H:** porcentaje de humedad (%).
- **M:** masa inicial de la muestra (g).
- **M₁:** masa de la muestra después del secado (g).

Muestras con más de 16 % de humedad

$$H\left(\frac{G}{100} G\right) = \frac{(M_3 - M_1)M_2}{M_3} + M - M_2 \times \frac{100}{M}$$

Donde:

- **H:** contenido de humedad (%) expresado en función de la masa original de la muestra.
- **M:** masa inicial de la muestra (g).
- **M₁:** masa de la muestra seca (g).
- **M₂:** masa de la muestra después del secado (g).
- **M₃:** masa de la muestra triturada después del acondicionamiento (g).

Precisión

- La precisión del método se evaluó mediante determinaciones por duplicado.
- Se consideró aceptable cuando la diferencia entre dos determinaciones del contenido de humedad sobre la misma muestra no excedió 0.2 % en valor absoluto.
- Si este criterio se cumplía, los resultados eran presentados como el promedio de ambas determinaciones.
- Asimismo, la variabilidad relativa entre mediciones no superó el 15 %, garantizando la repetibilidad del método.

ANEXO 4 Metodología para la extracción de grasa.

NTP 205.006:2018. Materia grasa (INACAL, 2018).

- De acuerdo con el contenido de grasa previsto, se pesaron entre 2 y 5 g de muestra seca y molida, utilizando una balanza analítica calibrada (± 0.001 g).
- Se introdujo la muestra en una campana de extracción o en papel filtro, cuya porosidad es de alrededor de 8 μm .
- El dedal se introdujo en el equipo Soxhlet y se realizó una extracción continua durante aproximadamente 16 horas, utilizando éter etílico o éter de petróleo como solvente.
- Al concluir la extracción, se eliminó el solvente por evaporación y el extracto de grasa fue secado en un horno a 100 °C durante media hora.
- Luego, el recipiente se enfrió en un deshidratador hasta que alcanzó la temperatura ambiente y se determinó su masa.
- El secado se repitió hasta obtener peso constante, considerando este cuando la variación entre pesadas sucesivas fue menor a 0,05 %.

Extracción

- Siguiendo la norma NTP 205.002, el contenido de grasa fue calculado empleando el método de extracción Soxhlet.
- Con una balanza analítica calibrada (± 0.001 g), se pesaron entre 2 y 5 g de una muestra secada y molida previamente. La muestra fue colocada en un dedal de extracción cerrado

con algodón o, como otra opción, sobre papel de filtro con un tamaño medio de poro de 8 μm .

- El balón del equipo Soxhlet fue secado previamente en estufa, enfriado en desecador y tarado.
- Después, el dedal que contenía la muestra se colocó en el aparato Soxhlet y se realizó una extracción continua durante unas 16 horas con éter etílico o éter de petróleo como disolvente.
- Tras terminar la extracción, se extrajo el dedal y se hizo evaporar el disolvente del matraz. El extracto de grasa se secó en un horno a 100 °C durante media hora, luego se enfrió en un deshidratador hasta alcanzar la temperatura ambiente y se pesó.
- Se repitió el proceso de secado hasta que se logró una masa constante, lo cual se asumió cuando la diferencia entre pesajes sucesivos fue inferior al 0.05%.

$$Mg = \frac{100 (M1 - M)}{M2} \times \frac{100}{(100 - H)}$$

Donde:

- **Mg**: contenido de materia grasa (g/100 g de muestra seca).
- **M₁**: peso del recipiente que contiene la materia grasa (g).
- **M**: peso del recipiente vacío (g).
- **M₂**: peso de la muestra (g).
- **H**: contenido de humedad de la muestra (%), empleado para expresar los resultados en base seca, cuando corresponda.

$$Mg \frac{(M1 - M)}{M2} \times 100$$

Donde:

- **Mg**: contenido de materia grasa (g/100 g de muestra seca).
- **M₁**: peso del recipiente con la materia grasa (g).
- **M**: peso del recipiente vacío (g).
- **M₂**: peso de la muestra seca (g).

Si se cuenta con el valor de la humedad de la muestra, el contenido de la materia grasa en base húmeda se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$Mg \frac{(M1 - M) \times (100 - H)}{M2}$$

Donde

- **Mg:** contenido de materia grasa (g/100 g de muestra seca).
- **M₁:** peso del recipiente con la materia grasa (g).
- **M₂:** peso de la muestra seca (g).
- **M:** peso del recipiente vacío (g).
- **H:** contenido de humedad de la muestra (%), determinado según la NTP 205.002.

ANEXO 5 Método de análisis de proteínas

Determinación de proteínas

Procedimiento

- La determinación de proteínas se realizó mediante el método Kjeldahl, que consiste en la cuantificación del nitrógeno total.
- Se realizó un blanco con 30 mL de ácido sulfúrico concentrado y 10 g de mezcla catalizadora, manteniendo las mismas condiciones que para el análisis.
- Utilizando una balanza analítica calibrada (± 0.001 g), se pesó 1.0 g de la muestra molida previamente y se depositó en el matraz Kjeldahl.
- Se añadieron 30 mL de ácido sulfúrico concentrado y 10 g de mezcla catalítica. Se colocó el matraz en un ángulo y se calentó con suavidad hasta que la espuma dejó de formarse.
- Posteriormente, se hizo hervir la mezcla hasta obtener una solución de color verde esmeralda y transparente, manteniendo el calentamiento durante 30 minutos para culminar la digestión.
- Después de la digestión, se dejó enfriar la mezcla y se procedió a hacer la destilación. Se incorporaron alrededor de 70 mL de solución de hidróxido y un agente antiespumante, asegurándose de agregarlo por los lados del matraz.

- El matraz fue conectado al sistema de destilación Kjeldahl de inmediato. Se recogió el amoníaco liberado en un matraz de Erlenmeyer de 500 mL que contenía una cantidad conocida de ácido sulfúrico o ácido clorhídrico a 0.1 N, manteniendo la parte final del condensador sumergida en dicha solución.
- Para garantizar la recuperación del amoníaco, se continuó con la destilación hasta obtener un mínimo de 150 mL de destilado.
- Por último, se tituló el ácido excedente con una solución estándar de potasio o sodio hidróxido, empleando como indicador el rojo metilo.

Expresión de resultados

$$P = \left[\frac{(V_{BK} - V_m) \times N_{NaOH} \times f_{NaOH} \times 0.014 \times F \times 100}{m} \right] \times \frac{100}{(100 - H)}$$

- **P:** contenido de proteínas (g/g de muestra seca).
- **V_{BK}:** volumen (mL) de solución estándar de hidróxido de sodio 0,1 N requerido para titular el blanco.
- **V_m:** volumen (mL) de solución estándar de hidróxido de sodio 0,1 N utilizado para titular la muestra.
- **N_{NaOH}:** normalidad del hidróxido de sodio.
- **f_{NaOH}:** factor de corrección de la solución valorada de NaOH 0,1 N.
- **0,014:** miliequivalente de nitrógeno.
- **m:** masa de la muestra (g).
- **H:** contenido de humedad de la muestra (g/100 g).

ANEXO 6 Metodología para el análisis de fósforo P.

- En las muestras líquidas, los componentes se homogeneizan mediante agitación antes de ser pesados.
- Una cantidad de muestra con alrededor de 4.0 mg de fósforo fue pesada con precisión empleando una balanza analítica calibrada (± 0.001 g), y se colocó en un crisol o cápsula de porcelana que había sido acondicionado previamente.

- En una placa caliente o en un baño de vapor, la muestra se evaporó hasta que quedó seca. Después, fue incinerado en un horno mufla a una temperatura máxima de 600 °C durante 3 a 4 horas, hasta que se obtuvo ceniza libre de carbono.
- Después de la incineración, el residuo se enfrió a temperatura ambiente en un desecador. Se añadió cerca de 40 mL de ácido clorhídrico (HCl) y unas gotas de ácido nítrico (HNO₃), y la mezcla se calentó hasta que hirvió en una placa caliente para conseguir que las cenizas se disolvieran por completo.
- Por último, se enfrió la solución y se transfirió a un matraz aforado de 100 mL en términos cuantitativos, completando el volumen con agua destilada.

Determinación

- Se elaboraron soluciones estándar de fósforo traspasando alícuotas de la solución estándar de trabajo (0, 5, 8, 10 y 15 ml) a frascos volumétricos de 100 ml. Las cantidades correspondientes fueron: 0, 0.5, 0.8, 1 y 1.5 mg de P.
- A cada matraz, tanto de estándares como de muestras, se le incorporó 20.0 mL del reactivo molibdovanadato y después el volumen se completó con agua destilada; posteriormente, se mezcló adecuadamente.
- Las soluciones permanecieron quietas durante 10 minutos para que el color se desarrollara completamente.
- Con un espectrofotómetro calibrado previamente, se determinó la absorbancia de las muestras y los estándares en celdas de 1 cm de longitud de trayectoria, a una longitud de onda cercana a los 400 nm.
- Para calibrar el equipo, se utilizó la norma de 0.0 mg P como blanco.
- Se elaboró una curva de calibración mediante regresión lineal de la absorbancia frente a la concentración de fósforo (mg P), utilizada para determinar su contenido en las muestras.
- El contenido se transfirió cuantitativamente a embudos de separación de 125 ml, enjuagando el tubo con 30 mL de agua destilada.
- Se adicionaron 30 ml de solución y se agitó durante aproximadamente 2 minutos.
- Después de separar las fases, se descartó la fase acuosa inferior.
- La fase orgánica se lavó con 30 mL de solución de lavado, repitiendo el procedimiento tres veces.

- Posteriormente, se tomó una alícuota de 20 mL de la fase orgánica y se evaporó hasta sequedad bajo nitrógeno.
- Se preparó una solución estándar adicional diluyendo 2 ml de la solución intermedia en un matraz volumétrico de 50 mL con hexano.
- La absorbancia se midió a 325 nm en una celda de 1 cm de paso óptico, empleando un espectrofotómetro previamente calibrado.

$$P, \text{ mg/L} = \text{mg P} \times 5000 \times \text{densidad de la muestra de prueba/g muestra.}$$

ANEXO 7 Metodología para el análisis de Mg.

Ceniza

- Pesar la muestra (~1–2 g).
- Llevar a mufla 500–550 °C hasta obtener ceniza blanca.
- Enfriar en desecador.

Disolución

- Disolver la ceniza con HNO₃ diluido.
- Transferir a matraz y aforar al volumen indicado.
- Diluir si es necesario.

Curva de calibración

- Preparar estándares de Mg a varias concentraciones.
- Usar el mismo ácido y condiciones que la muestra.

Lectura en AAS

- Configurar AAS con la lámpara de Mg y longitud de onda correspondiente.
- Medir absorbancias de estándares y muestras.

Cálculo

- Obtener concentración a partir de la curva de calibración.
- Aplicar factores de dilución y expresar en mg/kg o mg/100 g.

Control de calidad

- Usar blancos, duplicados y material de referencia.

ANEXO 8 Metodología de análisis Vitamina A.

- Se preparó una solución madre de retinilo palmitato (10 mg/mL) en hexano de grado HPLC, añadiendo 0.1 g a un matraz volumétrico de 100 ml. Llenado hasta la marca con hexano y agitado hasta que se disolvió por completo.
- Para evitar la degradación, la solución se almacenó a -20 °C y protegida de la luz; además, se renovaba cada dos semanas.
- A partir de esta solución, se preparó una solución estándar intermedia, transfiriendo 2 mL a un matraz volumétrico de 250 mL y aforando con hexano.
- Después, se logró una solución de trabajo estándar (≈ 1.6 mg/mL) al evaporar 2 mL de la solución intermedia bajo un flujo de nitrógeno y reconstruir el residuo con la solución antioxidante hasta alcanzar los 100 mL. Esta solución se elaboró diariamente.
- Para el análisis se pipetearon 10 mL de la disolución estándar de trabajo o de la muestra, lo que equivale a cerca de 20 IU de vitamina A, en tubos centrífugos de 150 mL.
- Se añadieron 20 mL de solución antioxidante y 5 mL de solución de saponificación. En muestras líquidas, el volumen se ajustó previamente a 10 mL con agua destilada.
- Los tubos se taparon, mezclaron adecuadamente y colocaron en un baño de agua a 70 °C con agitación constante durante 25 minutos para favorecer la saponificación.
- Finalmente, las muestras se enfriaron en un baño de hielo durante 5 minutos, hasta alcanzar la temperatura ambiente.

$$C_{std} = \frac{A_{325}}{2x \sum x b} \times 10^4$$

Donde A₃₂₅= absorbancia de la solución estándar de trabajo a 325 nm; $\sum$ =975, coeficiente de extinción de palmitato de retinilo en hexano a 325nm; y b=1 cm longitud de la trayectoria de la celda

ANEXO 9 Metodología de análisis de Vitamina C.

- Para preparar una solución precipitante, se disolvió 15 g de ácido metafosfórico (HPO_3) en un compuesto que contenía 150 mL de agua destilada y 40 mL de ácido acético glacial. Se añadió agua destilada hasta alcanzar un volumen de 250 mL y se filtró rápidamente a través de papel de filtro cualitativo de doblez rápida (Whatman No. 541 o equivalente) en un vaso de precipitados de 500 mL.
- Simultáneamente, se preparó una solución de EDTA disolviendo 0.9 g en 200 mL de agua destilada y diluyéndola hasta llegar a los 250 mL.
- Ambas soluciones se mezclaron en partes iguales inmediatamente antes de ser utilizadas.
- Se pesaron exactamente 50 mg de ácido ascórbico estándar (USP), previamente conservado en desecador y protegido de la luz.
- La muestra se transfirió a un matraz volumétrico de 50 mL y se aforó con la solución precipitante. Esta solución se preparó inmediatamente antes de su utilización.
- Se disolvió 0.0625 g de la sal de sodio en cerca de 50 mL de agua destilada dentro de un matraz volumétrico de 250 mL, el cual había tenido antes 0.0525 g de bicarbonato sódico (NaHCO_3). Esto generó la solución estándar del dicloroinfofenol-2,6.
- La solución se agitó vigorosamente hasta disolver completamente el colorante y posteriormente se aforó con agua destilada.
- Luego, se filtró utilizando papel filtro cualitativo de plegado rápido y se almacenó en un frasco de vidrio ámbar.
- Se transfirieron alícuotas de 2,0 mL de la solución estándar de ácido ascórbico a tres matraces Erlenmeyer de 50 mL, cada uno con 5 mL de solución precipitante.
- Se realizó la titulación con una bureta de 25 mL (de precisión 0.05 mL), añadiendo la solución de indofenol hasta que se adquirió un color rosa tenue, que se mantuvo durante al menos cinco segundos.
- Se necesitaban unos 15 mL de titrante para cada titulación, y los valores alcanzados no deberían haber variado en más de ± 0.1 mL.

- **Calcular equivalente de colorante**

Equivalente de acido ascorbico a 1 ml de solucion estandar de indofenol

$$\frac{\text{mg de acido ascorbico}}{(\text{ml de colorante} - \text{titulacion en blanco})} = \frac{2 \text{ mg}}{(\text{ml de colorante} - \text{titulacion en blanco})}$$

- Se pipetearon entre 25 y 30 mL de la porción de prueba en un vaso de precipitados de 125 mL, al que se le incorporó el mismo volumen de solución precipitante.
- El volumen total de la mezcla se estableció como V (mL), y el volumen de la alícuota extraída fue asignado a E (mL).
- Se utilizó papel de filtro cualitativo de doble pliegue rápido (Whatman No. 541 o equivalente) para filtrar la mezcla, y se obtuvo así el filtrado, conocido como solución de prueba.
- Se tomaron tres alícuotas de 10 mL de la solución de prueba y se pasaron a matraces de Erlenmeyer de 50 mL.
- Se tituló cada alícuota con la solución estándar de 2,6-dicloroindofenol hasta que se alcanzó un color rosa tenue que duró por lo menos cinco segundos.
- Se prepararon dos blancos utilizando la solución precipitante y un volumen de agua destilada igual al del volumen de muestra empleado en cada alícuota.
- Los blancos se titularon en las mismas condiciones que las muestras, utilizando la solución estándar de indofenol hasta alcanzar el mismo punto final.

$$\text{Acido ascorbico } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ listo para consumir} = (X - B) \times \left(\frac{F}{E} \right) * \left(\frac{V}{Y} \right) * 1000$$

ANEXO 10 *Método de evaluación de análisis sensorial de la aceptabilidad*

PRODUCTO: Extruido

NOMBRES Y APELLIDOS:	
FECHA	
EDAD	
SEXO	Femenino() Masculino ()

INSTRUCCIONES:

Señores miembros del panel de evaluación sensorial, se solicita evaluar cada parámetro del producto de manera individual. Coloque la puntuación correspondiente según su apreciación, considerando la escala de evaluación presentada en el siguiente cuadro:

ESCALA DE CALIFICACION	
Excelente	5
Muy bueno	4
Bueno	3
Regular	2
Malo	1

CARACTERÍSTICAS DE ACEPTABILIDAD SENSORIAL

CODIGO	COLOR	SABOR	PREFERENCIA GLOBAL
110			
120			
130			

Participo en la evaluación sensorial de este producto, no siendo obligada y de manera voluntaria mi participación.
--

La fórmula empleada fue la siguiente:

Donde:

VD: Valor diario de referencia del nutriente (g, mg o kcal), establecido por la normativa.

a) Fenogreco pesado 9.995 kg

- **Materia que sale del sistema**

b) Fenogreco 9.995 kg

a) 9.995 kg → Pesado → b) 9.995 kg

D) Balance de materia Desamargado y secado

- **Materia que entra al sistema**

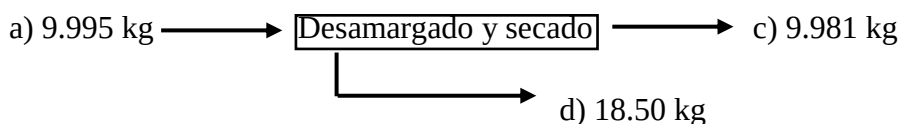
a) Fenogreco 9.995 kg

b) Agua (fluido continuo)

- **Materia que sale del sistema**

c) Fenogreco seco 9.981 kg

d) Agua eliminada 18.50 kg



E) Balance de materia molienda

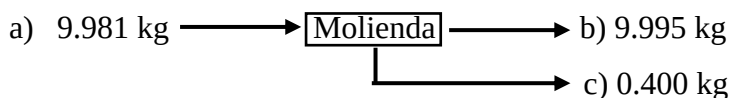
- **Materia que entra al sistema**

a) Fenogreco seco 9.981 kg

- **Materia que sale del sistema**

b) Harina de Fenogreco 9.581 kg

c) Perdida (polvillo y adherencia) 0.400 kg



Harina final: 9.581 kg

$$\text{Rendimiento} = \frac{9.581}{10} \times 100 = 95.81\%$$

La pérdida total fue de 0.419 kg equivalente a 4.19 %

ANEXO 13 Balance de materia obtención de harina de quinua roja y negra

A) Balance de materia recepción

- Materia que entra al sistema

a) Quinua 80 kg

- Materia que sale del sistema

b) Quinua 80 kg

a) 80 kg → Recepción → b) 80 kg

B) Balance de materia eliminación de impurezas

- Materia que entra al sistema

a) Quinua 80 kg

- Materia que sale del sistema

b) Quinua seleccionada 79.99 kg

c) Impurezas 0.01 kg

a) 80 kg → Eliminación de impurezas → b) 79.99 kg
↓
c) 0.01 kg

C) Balance de materia lavado y desamargado

- Materia que entra al sistema

a) Quinua 79.99 kg

- Materia que sale del sistema

b) Quinua secada 77.79 kg

c) saponina 2.20 kg

a) 79.99 kg → Desamargado y secado → b) 77.79 kg
↓
c) 2.20 kg

D) Balance de materia molienda

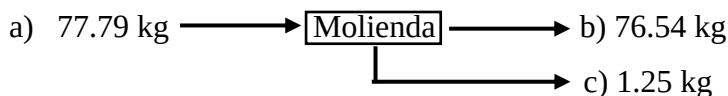
- Materia que entra al sistema

a) Quinua secada 77.79 kg

- **Materia que sale del sistema**

b) Harina de quinua 76.54 kg

c) Perdida (polvillo y adherencia) 1.25 kg



Harina final: 77.048 kg

$$\text{Rendimiento} = \frac{76.54}{80} \times 100 = 95.675\%$$

La pérdida total fue de 3.46 kg equivalente a 4.325 %

ANEXO 14 Balance de materia de extruido

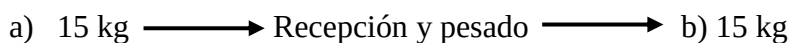
A) Balance de materia de recepción y pesado

- **Materia que entra al sistema**

a) Harina de quinua roja, quinua negra y fenogreco 15 kg

- **Materia que sale del sistema**

b) Harina de quinua roja, quinua negra y fenogreco 15 kg



B) Balance de materia de mezclado

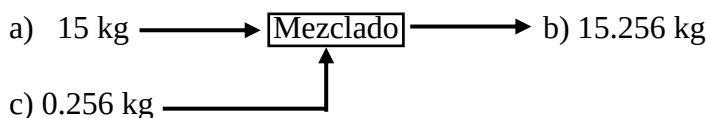
- **Materia que entra al sistema**

a) Harina de quinua roja, quinua negra y fenogreco 15 kg

- **Materia que sale del sistema**

b) Mezclas de harinas con humedad 15 kg

c) Agua (humedad) 0.256 kg



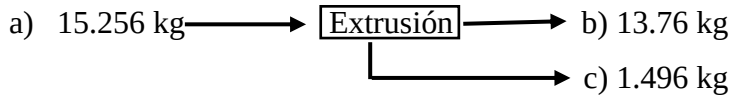
C) Balance de materia extrusión

- **Materia que entra al sistema**

a) Mezclas de harinas con humedad 15.256 kg

- **Materia que sale del sistema**

- | | |
|---|----------|
| b) Extruido | 13.76 kg |
| c) Agua evaporada y perdidas de proceso (adherencia y arranque) | 1.496 kg |



Extruido final: 13.76 kg

$$\text{Rendimiento} = \frac{13.76}{15.256} \times 100 = 90.19\%$$

La pérdida total fue de 1.496 kg equivalente a 9.81 %

ANEXO 15 Balance de energía

Datos para el balance de energía:

- La mezcla inicial a temperatura ambiente: 25 °C.
- La temperatura de extrusión: 150 °C.
- La capacidad calorífica media de las harinas: 1,6 kJ/kg·K.
- La capacidad calorífica del agua: $C_p = 4,18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$.
- La cantidad de harina seca: 15 kg.
- El agua de humectación añadida: $m_{\text{agua}} = 0,256 \text{ kg}$.
- El agua evaporada (5,86 %): 0,894 kg.
- El calor latente de vaporización del agua: 2260 kJ/kg.

Energía para calentar las harinas + agua (Q_1)

$$Q_1 = m_{\text{harina}} C_{p.\text{harina}} \Delta T + m_{\text{agua}} C_{p.\text{agua}} \Delta T$$

$$Q_1 = [15 \times 1.60 \times (150 - 25)] + [0.256 \times 4.18 \times (150 - 25)]$$

$$Q_1 = [15 \times 1.60 \times 125] + [0.256 \times 4.18 \times 125]$$

$$Q_1 = 3000 + 133.76$$

$$Q_1 = 3133.76 \text{ KJ}$$

Cálculo de la energía para evaporar el agua Q_2

$$Q_2 = m_{\text{evaporada}} \cdot L_v$$

Sustitución de datos:

- $m_{\text{evaporada}} = 0.894 \text{ kg}$
- $L_v = 2260 \text{ KJ/kg}$

$$Q_2 = 0.894 \times 2260$$

$$Q_2 = 2020.44 \text{ KJ}$$

Energía total requerida

$$Q_{\text{total}} = 2020.44 \text{ KJ} + 3133.76 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{total}} = 5154.2 \text{ KJ}$$

ANEXO 16 ANOVA de la textura del extruido.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Valor	p-valor	
Modelo	38382.24	9	4264.69	6.79	0.0097	significativo
A-HUMEDAD	24800.99	1	24800.99	39.48	0.0004	
B-TEMPERATURA	1739.03	1	1739.03	2.77	0.1401	
C-RPM	2151.02	1	2151.02	3.42	0.1067	
AB	442.47	1	442.47	0.7043	0.4291	
AC	22.18	1	22.18	0.0353	0.8563	
BC	749.66	1	749.66	1.19	0.3108	
A ²	8.59	1	8.59	0.0137	0.9102	
B ²	3704.50	1	3704.50	5.90	0.0455	
C ²	4311.38	1	4311.38	6.86	0.0344	
Residuo	4397.78	7	628.25			
Falta de ajuste	52.34	3	17.45	0.0161	0.9968	no significativo
Error Puro	4345.45	4	1086.36			
Total corregido	42780.03	16				

Estadísticas de ajuste

Desviación estándar	25.07	R²	0.8972
Media	365.40	R² ajustado	0.7650
C.V. %	6.86	R² predicho	0.8217
		Precisión adecuada	7.9606

Modelo matemático de la Textura del extruido

$$\text{Textura} = +393.75 + 55.68 * A - 14.74 * B - 16.40 * C + 10.52 * AB - 2.35 * AC + 13.69 * BC + 1.43 * A^2 - 29.66 * B^2 - 32.00 * C^2$$

A=Humedad, B= Temperatura, C=Velocidad del tornillo.

Como se muestra en el ANEXO 16, el análisis de varianza (ANOVA) indica que el modelo cuadrático para la textura del extruido fue significativo ($p = 0,0097$), lo que evidencia la influencia de las variables sobre la respuesta. La prueba de falta de ajuste (Lack of Fit) no fue significativa ($p = 0,9968$), indicando que el modelo representa adecuadamente los datos experimentales. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,8972$) muestra que el 89,72 % de la variabilidad de la textura es explicada por el modelo. El R^2 ajustado (0,7650) y el R^2 predicho (0,8217) presentaron una diferencia de 0,0567, menor a 0,20, lo que indica una adecuada capacidad explicativa y predictiva. Asimismo, la precisión adecuada fue de 7,9606, superior a 4, lo que demuestra una relación señal-ruido adecuada y permite utilizar el modelo para realizar predicciones en el proceso de extrusión.

El modelo matemático indica que, si la humedad incrementa la textura también aumenta. Este factor fue significativo ($p=0,0004$), considerándose el principal factor determinante de la textura.

Si los valores B (-14.74) y C (-16,40) se incrementan, la textura podría reducirse o menor dureza. Pero estos efectos no fueron significativos.

ANEXO 17 ANOVA L^* colorimetría de extruido.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Valor	p-valor	
Modelo	129.80	3	43.27	15.27	0.0001	significativo
A-HUMEDAD	128.04	1	128.04	45.19	< 0.0001	
B-TEMPERATURA	0.8726	1	0.8726	0.3080	0.5883	
C-RPM	0.8889	1	0.8889	0.3137	0.5849	
Residuo	36.83	13	2.83			No significativo
Falta de ajuste	31.81	9	3.53	2.81	0.1658	
Error Puro	5.02	4	1.26			
Total corregido	166.63	16				

Estadística de ajuste

Desviación estándar	1.68	R²	0.7790
Media	46.16	R² ajustado	0.7279
C.V. %	3.65	R² predicho	0.5735
		Precisión adecuada	10.6161

Modelo matemático de la L color del extruido

$$L^* = +46.16 - 4.00 A + 0.3303 B - 0.333 C$$

A=Humedad, B= Temperatura, C=Velocidad del tornillo.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) indicaron que el modelo era significativo ($F = 15.27$; $p = 0.0001$), lo que confirma una relación estadísticamente significativa entre los factores analizados y la respuesta. La humedad (A), al ser analizada como cada uno de los factores, tuvo un impacto relevante en la respuesta ($F = 45.19$; $p < 0.0001$). Por otro lado, dado que sus valores p eran superiores a 0.05, la temperatura (B) y la velocidad de rotación (C) no mostraron efectos de importancia estadística, como se muestra en el ANEXO 17.

Adicionalmente, el test de falta de ajuste no fue significativo ($F = 2.81$; $p = 0.1658$), lo que señala que no se hallaron variaciones estadísticamente significativas entre el comportamiento estimado por el modelo y el error experimental puro. En consecuencia, el modelo presenta un ajuste apropiado a los datos adquiridos bajo las condiciones analizadas, siendo la humedad el elemento que ejerce el mayor impacto estadístico en la respuesta.

El modelo presentó un R^2 de 0.7790 y un R^2 ajustado de 0.7279, lo que sugiere un ajuste adecuado. Se encontró una diferencia de 0.1544 entre el R^2 ajustado y el R^2 predicho (0.5735), que es inferior a 0.20, lo que indica un buen acuerdo. La variabilidad fue baja, y la relación señal-ruido fue adecuada, y coeficiente de variación (CV) fue del 3.65% y la precisión adecuada fue de 10.616.

ANEXO 18 ANOVA a^* de colorimetría del extruido.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Valor	p-valor	
Modelo	5.52	3	1.84	20.38	< 0.0001	significativo
A-HUMEDAD	4.36	1	4.36	48.23	< 0.0001	
B-TEMPERATURA	0.8739	1	0.8739	9.68	0.0083	
C-RPM	0.2904	1	0.2904	3.22	0.0962	
Residuo	1.17	13	0.0903			
Falta de ajuste	1.09	9	0.1214	5.93	0.0511	No significativo
Error Puro	0.0819	4	0.0205			
Total corregido	6.69	16				

Estadística ajustada

Desviación estándar	0.3005	R^2	0.8246
Media	6.34	R^2 ajustado	0.7841
C.V. %	4.74	R^2 predicho	0.6456
		Precisión adecuada	14.6586

Modelo matemático de la L color del extruido

$$a^* = +6.34 - 0.7379 A + 0.3305 B + 0.1905 C$$

A=Humedad, B= Temperatura, C=Velocidad del tornillo

El modelo presentó un R^2 de 0.7790 y un R^2 ajustado de 0.7279, lo que sugiere un ajuste adecuado. Se encontró una diferencia de 0.1544 entre el R^2 ajustado y el R^2 predicho (0.5735), que es inferior a 0.20, lo que indica un buen acuerdo. La variabilidad fue baja, y la relación señal-ruido fue adecuada, y el coeficiente de variación (CV) fue del 3.65% y la precisión adecuada fue de 10.616.

Los resultados obtenidos demuestran un desempeño favorable del modelo, con un R^2 de 0,8246 y un R^2 ajustado de 0,7841. El valor de R^2 predicho (0,6456) mostró una diferencia de 0,1385 con respecto al R^2 ajustado, por debajo del límite de 0,20, lo que respalda su capacidad para predecir la respuesta. Además, el bajo coeficiente de variación (4,74 %) refleja una variabilidad experimental reducida, mientras que la precisión adecuada (14,6586) confirma una señal suficientemente alta en relación con el ruido experimental.

ANEXO 19 ANOVA colorimetría b^* del extruido.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Valor	p-valor	
Modelo	52.54	3	17.51	18.74	< 0.0001	significativo
A-HUMEDAD	51.21	1	51.21	54.79	< 0.0001	
B-TEMPERATURA	1.32	1	1.32	1.42	0.2552	
C-RPM	0.0015	1	0.0015	0.0016	0.9690	
Residuo	12.15	13	0.9347			
Falta de ajuste	7.77	9	0.8629	0.7873	0.6499	No significativo
Error Puro	4.38	4	1.10			
Total corregido	64.69	16				

Estadística ajustada

Desviación estándar	0.9668	R^2	0.8122
Media	11.79	R^2 ajustado	0.7688
C.V. %	8.20	R^2 predicho	0.6743
		Precisión adecuada	12.5259

Modelo matemático de la L color del extruido

$$b^* = +11.79 - 2.53 A + 0.4069 B - 0.0135 C$$

A=Humedad, B= Temperatura, C=Velocidad del tornillo.

El modelo presentó un R^2 de 0.7790 y un R^2 ajustado de 0.7279, lo que sugiere un ajuste adecuado. Se encontró una diferencia de 0.1544 entre el R^2 ajustado y el R^2 predicho (0.5735), que es inferior

a 0.20, lo que indica un buen acuerdo. La variabilidad fue baja, y la relación señal-ruido fue adecuada, ya que el coeficiente de variación (CV) fue del 3.65% y la precisión adecuada fue de 10.616.

El modelo mostró un buen ajuste, con un R^2 de 0.8122 y un R^2 ajustado de 0.7688. La capacidad predictiva es favorable, pues la R^2 estimada fue de 0.6743, con una diferencia de 0.0945 respecto a la R^2 ajustada. La precisión adecuada de 12.5259 mostró una buena relación señal-ruido.

ANEXO 20 ANOVA de la humedad

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Valor	p-valor	
Modelo	34.08	9	3.79	43.89	< 0.0001	significativo
A-HUMEDAD	26.50	1	26.50	307.15	< 0.0001	
B-TEMPERATURA	1.28	1	1.28	14.84	0.0063	
C-RPM	0.2450	1	0.2450	2.84	0.1358	
AB	0.8649	1	0.8649	10.03	0.0158	
AC	0.0121	1	0.0121	0.1403	0.7191	
BC	0.1681	1	0.1681	1.95	0.2054	
A ²	3.72	1	3.72	43.08	0.0003	
B ²	0.6720	1	0.6720	7.79	0.0269	
C ²	0.2621	1	0.2621	3.04	0.1249	
Residuo	0.6039	7	0.0863			
Falta de ajuste	0.4836	3	0.1612	5.36	0.0693	No significativo
Error Puro	0.1203	4	0.0301			
Total corregido	34.68	16				

Estadísticas de ajuste

Desviación estándar	0.2937	R²	0.9826
Media	10.00	R² ajustado	0.9602
C.V. %	2.94	R² predicho	0.7715
		Precisión adecuada	21.1962

Modelo matemático de la humedad del extruido

$$\text{Humedad del extruido} = +10.74 + 1.82 * A - 0.4000 * B - 0.1750 * C + 0.4650 * AB + 0.0550 * AC - 0.2050 * BC - 0.9395 * A^2 - 0.3995 * B^2 - 0.2495 * C^2$$

A=Humedad, B= Temperatura, C=Velocidad del tornillo

Como se muestra en el ANEXO 20, el análisis de varianza (ANOVA) reveló que el modelo cuadrático era significativo ($p < 0.0001$), lo que demuestra que las variables examinadas impactaron en la cantidad de humedad del producto extruido. El modelo representa adecuadamente los datos experimentales, según lo muestra el hecho de que la prueba de ajuste no fue significativa ($p = 0.0693$).

El coeficiente de determinación (R^2) fue de 0.9826, lo que significa que el modelo explicó el 98.26% de la variabilidad. De manera similar, el R^2 ajustado fue de 0.9602 y el R^2 predicho fue de 0.7715; la diferencia entre ambas cifras fue de 0.1887, que es inferior al límite establecido de 0.20, lo que sugiere una capacidad predictiva apropiada. Además, el valor de Exactitud Adecuada fue 21.1962, lo que supera el mínimo requerido de 4 y muestra una relación señal-ruido adecuada para la exploración del espacio de diseño.

Cuando se analizan los factores de manera individual, la humedad (A) mostró el mayor impacto, con un valor F de 307.15 y una significación estadística ($p < 0.0001$). La temperatura (B) también influyó de manera significativa en el contenido de humedad del extruido ($p = 0.0063$). Por el contrario, RPM (C) no mostró un efecto significativo ($p = 0.1358$).

En lo que concierne a las interacciones, la combinación de temperatura y humedad (AB) fue la única que mostró un efecto significativo ($p = 0.0158$), lo que sugiere que ambas variables influyeron conjuntamente en el contenido de humedad del extruido. Por otro lado, las interacciones AC y BC no mostraron efectos significativos ($p > 0.05$).

El modelo matemático señala que la humedad del extruido se incrementa a medida que aumenta la humedad y este elemento es significativo desde el punto de vista estadístico ($p = 0.0001$). El coeficiente de temperatura B (-0,4000) señala que la cantidad de humedad del extruido tiende a

bajar cuando la temperatura aumenta. De manera similar, el coeficiente de RPM C (-0.1750) señala una leve disminución en la humedad; no obstante, este elemento no demostró ser estadísticamente significativo.

ANEXO 21 ANOVA de índice de absorción de agua (IAA)

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Valor	p-valor	
Modelo	2.02	3	0.6742	33.05	< 0.0001	significativo
A-HUMEDAD	1.93	1	1.93	94.65	< 0.0001	
B-TEMPERATURA	0.0841	1	0.0841	4.12	0.0633	
C-RPM	0.0078	1	0.0078	0.3830	0.5467	
Residuo	0.2652	13	0.0204			
Falta de ajuste	0.2275	9	0.0253	2.68	0.1778	No significativo
Error Puro	0.0377	4	0.0094			
Total corregido	2.29	16				

Estadísticas de ajuste

Desviación estándar	0.1428	R²	0.8841
Media	7.51	R² ajustado	0.8573
C.V. %	1.90	R² predicho	0.8180
		Precisión adecuada	17.1410

Modelo matemático de índice de absorción de agua (IAA) del extruido

$$IAA = +7.51 - 0.4912 \cdot A + 0.1025 \cdot B + 0.0313 \cdot C$$

A=Humedad, B= Temperatura, C=Velocidad del tornillo.

El modelo lineal para el índice de absorción de agua (IAA) fue significativo ($p = 0.0001$) según lo mostrado en el ANEXO 21, lo que demuestra que las variables evaluadas tuvieron un efecto sobre la respuesta. El modelo representa de manera adecuada los datos experimentales, ya que la prueba de ajuste fue no significativa ($p = 0.1778$). El coeficiente de determinación ($R^2 = 0.8841$) indica que el modelo explica el 88.41% de la variabilidad en el índice de absorción de agua. La diferencia entre el R^2 ajustado (0.8573) y el R^2 predicho (0.8180) fue de 0.0393, que es inferior a 0.20, lo que

demuestra una capacidad predictiva y explicativa apropiada. De igual manera, la precisión adecuada fue de 17.1410, superior a 4, lo que indica una ratio adecuada entre señal y ruido para realizar pronósticos en el proceso de extrusión. El modelo matemático indica que, al aumentar la humedad, el índice de absorción de agua disminuye, siendo este factor significativo ($p = 0,0001$). Por otro lado, los coeficientes de B (+0,1025) y C (+0,0313) indican que el incremento de estos factores produce un ligero aumento en el índice de absorción de agua.

ANEXO 22 ANOVA de índice solubilidad de agua (ISA).

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Valor	p-valor	
Modelo	56.22	9	6.25	6.73	0.0099	significativo
A-HUMEDAD	41.04	1	41.04	44.23	0.0003	
B-TEMPERATURA	0.9800	1	0.9800	1.06	0.3383	
C-RPM	0.4802	1	0.4802	0.5175	0.4952	
AB	1.85	1	1.85	1.99	0.2009	
AC	0.2116	1	0.2116	0.2280	0.6475	
BC	1.64	1	1.64	1.77	0.2256	
A ²	1.10	1	1.10	1.18	0.3124	
B ²	5.27	1	5.27	5.68	0.0486	
C ²	4.14	1	4.14	4.46	0.0727	
Residuo	6.50	7	0.9279			
Falta de ajuste	5.34	3	1.78	6.16	0.0558	no significativo
Error Puro	1.16	4	0.2891			
Total corregido	62.71	16				

Estadísticas de ajuste

Desviación estándar	0.9633	R²	0.8964
Media	20.89	R² ajustado	0.7633
C.V. %	4.61	R² predicho	-0.3909
		Precisión adecuada	9.4546

Modelo matemático de índice de absorción de agua (ISA) del extruido

$$\text{ISA} = +21.07 - 2.26*A - 0.3500*B - 0.2450*C - 0.6800*AB + 0.2300*AC + 0.6400*BC - 0.5110*A^2 + 1.12*B^2 - 0.9910*C^2$$

A=Humedad, B= Temperatura, C=Velocidad del tornillo

Como se expone en el ANEXO 22, la prueba de análisis de varianza (ANOVA) mostró que el modelo cuadrático para el índice de solubilidad del agua (WSI) era significativo ($p = 0.0099$), lo cual evidencia que las variables analizadas tuvieron un impacto en la respuesta. El test de falta de ajuste no fue significativo ($p=0.0558$), lo que señala que el modelo representa los datos experimentales de manera adecuada. El modelo explica el 89.64% de la variabilidad del índice de solubilidad en agua (WSI), lo que se refleja en el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.8964$). La diferencia entre el R^2 ajustado (0.7633) y el R^2 predicho (-0.3909) fue de 1.1542.

ANEXO 23 ANOVA de índice de expansión (IE)

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Valor	p-valor	
Modelo	0.3029	9	0.0337	26.94	0.0001	significativo
A-HUMEDAD	0.2312	1	0.2312	185.07	< 0.0001	
B-TEMPERATURA	0.0066	1	0.0066	5.29	0.0549	
C-RPM	0.0010	1	0.0010	0.8105	0.3979	
AB	0.0025	1	0.0025	2.00	0.2001	
AC	0.0016	1	0.0016	1.28	0.2950	
BC	0.0000	1	0.0000	0.0200	0.8915	
A ²	0.0023	1	0.0023	1.82	0.2191	
B ²	0.0347	1	0.0347	27.76	0.0012	
C ²	0.0182	1	0.0182	14.57	0.0066	
Residuo	0.0087	7	0.0012			
Falta de ajuste	0.0064	3	0.0021	3.69	0.1196	No significativo
Error Puro	0.0023	4	0.0006			
Total corregido	0.3117	16				

Estadísticas de ajuste

Desviación estándar	0.0353	R²	0.9719
Media	2.02	R² ajustado	0.9359
C.V. %	1.75	R² predicho	0.6586
		Precisión adecuada	15.7699

Modelo matemático del índice de expansión

$$\text{Índice expansión} = +1.94 - 0.1700 \cdot A + 0.0288 \cdot B + 0.0112 \cdot C - 0.0250 \cdot AB - 0.0200 \cdot AC - 0.0025 \cdot BC + 0.0233 \cdot A^2 + 0.0907 \cdot B^2 + 0.0658 \cdot C^2$$

A=Humedad, B= Temperatura, C=Velocidad del tornillo.

Como se muestra en el ANEXO 23, el ANOVA (análisis de varianza) reveló que el modelo cuadrático fue significativo ($p = 0.0001$), lo que demuestra que las variables analizadas afectaron al índice de expansión. El test de falta de ajuste no fue significativo ($p = 0.1196$), lo que indica un buen ajuste a los datos experimentales.

El modelo mostró un R^2 de 0.9719 y un R^2 ajustado de 0.9359, lo que indica un buen ajuste; no obstante, el R^2 pronosticado fue de 0.6586, lo que demuestra una menor capacidad predictiva.

El factor más influyente fue la humedad (A) ($F = 185.07$; $p < 0.0001$). La temperatura (B) y la RPM (C) no presentaron efectos lineales significativos ($p > 0.05$). No obstante, se encontraron términos cuadráticos de RPM (C^2 , $p = 0.0066$) y temperatura (B^2 , $p = 0.0012$) que resultaron ser significativos, lo cual sugiere que estos factores tienen un comportamiento no lineal en cuanto al índice de expansión.

ANEXO 24 ANOVA de color en aceptabilidad sensorial.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:H. FENOGRACO	0.340817	1	0.340817	52.57	0.0000
B:H. QUINUA ROJA	0.0160167	1	0.0160167	2.47	0.1369
C:H. QUINUA NEGRA	0.534017	1	0.534017	82.37	0.0000
AB	0.000416667	1	0.000416667	0.06	0.8033
AC	0.0104167	1	0.0104167	1.61	0.2243
BC	0.0104167	1	0.0104167	1.61	0.2243
Bloques	0.00823333	2	0.00411667	0.63	0.5436
Error total	0.09725	15	0.00648333		
Total (corr.)	1.01758	23			

$R^2 = 90.443 \%$

R^2 (ajustada por g.l.) = 85.346 %

Error estándar del est. = 0.0805191

El ANEXO 24, señala que, empleando un nivel de significación de $p < 0.05$ y un nivel de confianza del 95%, se encontraron diferencias notables en el color de las formulaciones analizadas por los panelistas. El modelo reveló un R^2 de 90.443% y un R^2 ajustado de 85.346%, lo que sugiere una capacidad explicativa apropiada. Además, se hallaron 15 grados de libertad y un error estándar de 0.0805.

ANEXO 25 ANOVA de sabor aceptabilidad sensorial

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:H. FENOGRACO	1.93802	1	1.93802	100.28	0.0000
B:H. QUINUA ROJA	0.0228167	1	0.0228167	1.18	0.2944
C:H. QUINUA NEGRA	1.51002	1	1.51002	78.14	0.0000
AB	0.0400167	1	0.0400167	2.07	0.1707
AC	0.18375	1	0.18375	9.51	0.0076
BC	0.25215	1	0.25215	13.05	0.0026
bloques	0.00653333	2	0.00326667	0.17	0.8461
Error total	0.289883	15	0.0193256		
Total (corr.)	4.24318	23			

$R^2 = 93.1683 \%$

R^2 (ajustada por g.l.) = 89.5247 %

Error estándar del est. = 0.139016

Las harinas de fenogreco y quinua roja presentaron efectos significativos sobre el color ($p < 0,05$), considerando un nivel de confianza del 95 % y 15 grados de libertad. El coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado=89,5247 %) indicó que el modelo presentó una buena capacidad explicativa.

ANEXO 26 ANOVA de preferencia global análisis sensorial.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:H. FENOGRECO	0.944067	1	0.944067	70.09	0.0000
B:H. QUINUA ROJA	0.0294	1	0.0294	2.18	0.1602
C:H. QUINUA NEGRA	1.36327	1	1.36327	101.22	0.0000
AB	0.0006	1	0.0006	0.04	0.8357
AC	0.160067	1	0.160067	11.88	0.0036
BC	0.112067	1	0.112067	8.32	0.0113
bloques	0.00923333	2	0.00461667	0.34	0.7152
Error total	0.202033	15	0.0134689		
Total (corr.)	2.82073	23			

$R^2 = 92.8376 \%$

R^2 (ajustada por g.l.) = 89.0176 %

Error estándar del est. = 0.116056

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que las harinas de fenogreco y quinua tuvieron un efecto significativo sobre la respuesta ($p < 0,05$), considerando un nivel de confianza del 95 % y 15 grados de libertad. El coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado = 89,0176 %) indicó que el modelo presentó una buena capacidad explicativa.

ANEXO 27 Quinua entera de El Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).



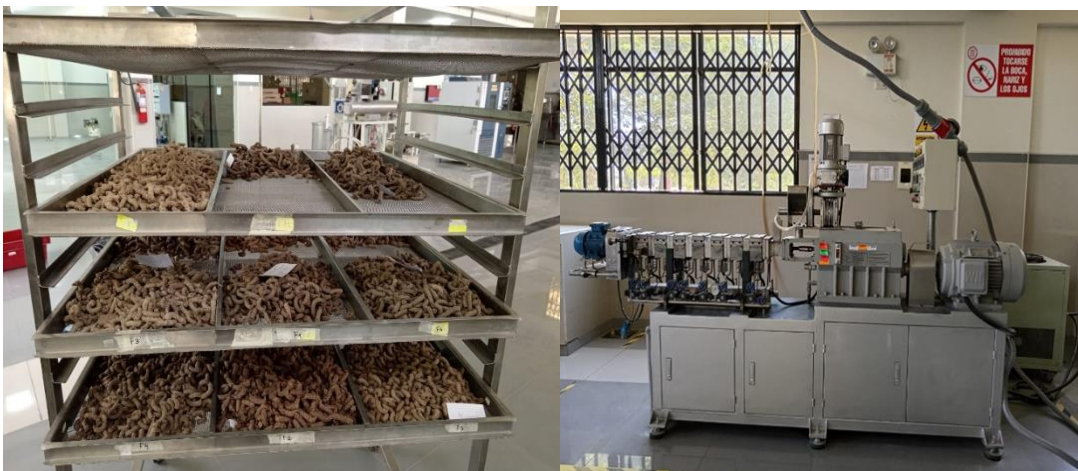
ANEXO 28 *Lavado del fenogreco.*



ANEXO 29 *Mezcla de harinas para su extrusión.*



ANEXO 30 *Extrusoras y muestras de tratamientos extruidos.*



ANEXO 31 *Formulaciones y determinación de cenizas.*



ANEXO 32 *Analizando la textura y el índice de expansión.*



ANEXO 33 *Evaluación sensorial.*



ANEXO 34 Resultados del análisis proximal del fenogreco.



S

Lab

Laboratorio de ensayo e investigación

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS

S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3820

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS PROXIMAL

Tabla N° 1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-6129	Carbohidratos	%	0.01	51.36
	Cenizas	%	0.01	9.63
	Grasa	%	0.01	4.21
	Humedad	%	0.01	8.52
	Proteínas	%	0.01	26.28
	Energía Total Kcal	Kcal/Kg	N.A.	3999.46

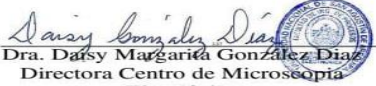
Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

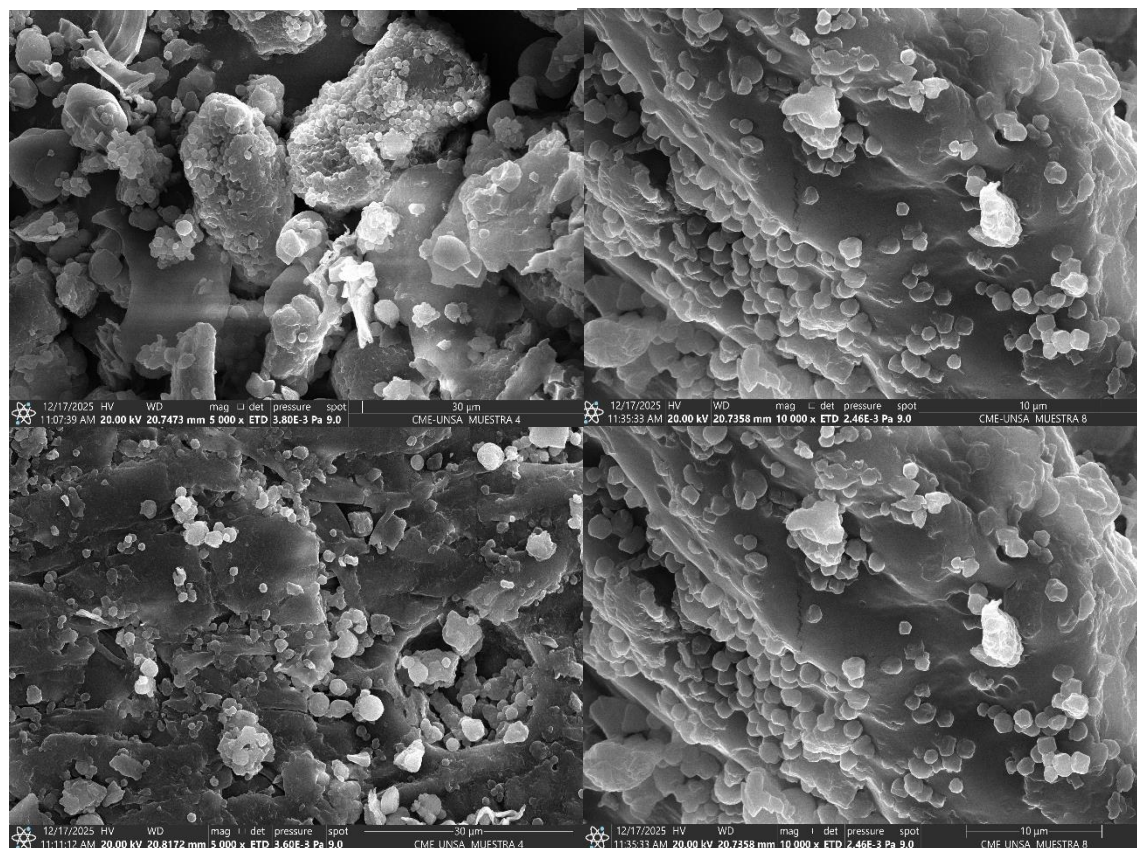
N.A. No Aplica.

(c) Información suministrada por el cliente.

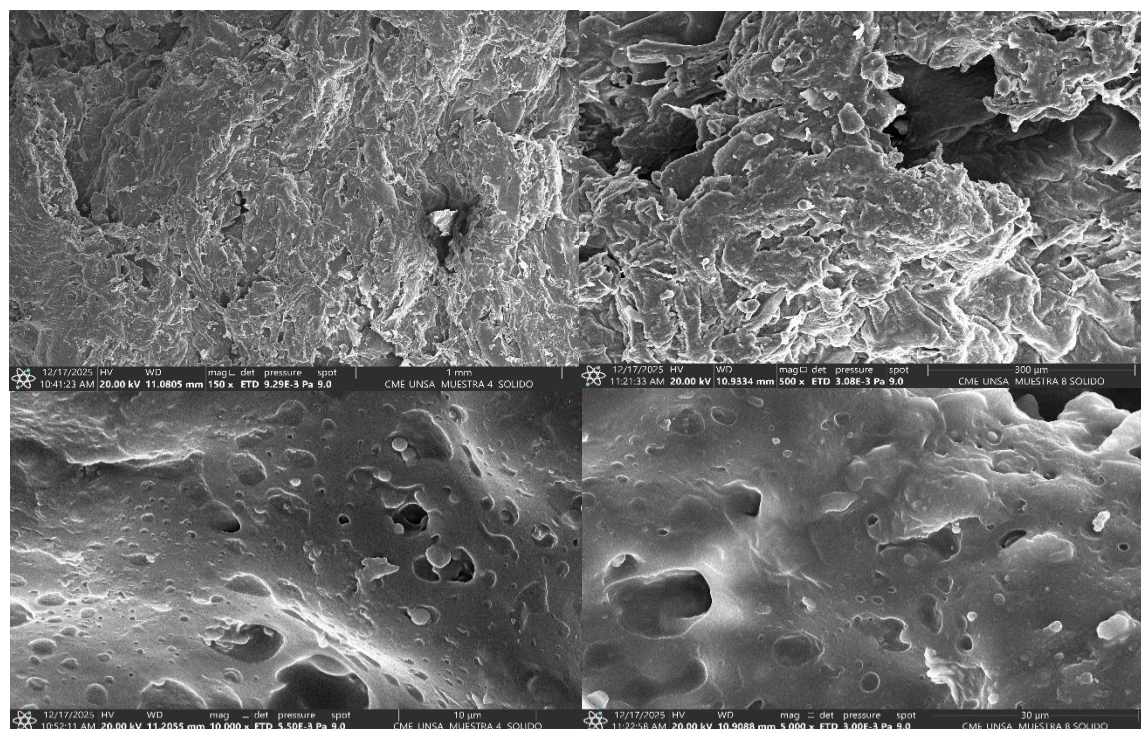
ANEXO 35 Resultados de microscopia electrónica de barrido.

 CENTRO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA		INFORME DE RESULTADOS N° 127- 2025-CME-UNSA		Código: IR-MEB-108-25 Fecha: 17/12/2025 Versión: 1.2 Pagina: 1 de 2
A:	Abel Dino Vera Bellido	N° de Servicio:	108	
De:	Dra. Daisy Margarita González Díaz	N° boleta / factura:	B220-00000010	
Asunto:	Caracterización morfológica y análisis químico elemental	Cod. de muestra:	(634-637)-MEB-2025	
Tipo/ Muestra	Muestras	N° Muestras:	04	
Equipo:	Microscopio Electrónico de Barrido, modelo Scios 2 Dual Beam, marca Thermo Scientific	Horas/ Trabajo:	1	
Descripción de la muestra: RECEPCIÓN DE MUESTRA: Se recepción 04 muestra para analizar las características morfológicas y químico elemental.				
Preparación de la muestra: PREPARACION DE MUESTRAS las muestras se prepararon en posición horizontal. Colocadas sobre unos stubs de aluminio (porta muestra), con cinta de carbón de doble cara para el pegado de las muestras.				
Análisis: Se realizó el análisis morfológico, contraste Z y químico elemental en el microscopio electrónico de barrido del Centro de Microscopia Electrónica de la UNSA. ANÁLISIS MORFOLÓGICO: se realizó el ensayo con el detector (ETD) electrones secundarios. el análisis se realizó de 20Kv las magnificaciones en posición horizontal se hicieron de 150X, 500X, 1000X, 2000X, 5000X, 10000X de aumentos. ANÁLISIS QUÍMICO ELEMENTAL: se realizó el ensayo con el detector EDS-Ultra Dry, los análisis se realizaron por área y/o puntual. Los nombres de los documentos PDF exportados de los análisis EDS están directamente relacionados con el nombre de las micrografías morfológicas.				
Conclusiones: El análisis se realizó el 17 diciembre del 2025. Durante el análisis de la muestra, se obtuvo: 40 microfotografías y Se visualiza detalles ultraestructurales imposibles de ver con métodos convencionales. Link: https://drive.google.com/drive/folders/1U508eRQ5ggVUOZKx6k7Bs-G7CBwaHljo?usp=drive_link La data recolectada durante el análisis fue extraída y almacenada en una carpeta drive propia del CME, el link será enviado por correo junto con este doc. (la data se eliminará dentro de 1 mes debido a espacio de la nube)				
Realizado por:	Mg. Edwin Elías Pantigoso Gómez	 Dra. Daisy Margarita González Díaz Directora Centro de Microscopia Electrónica		
Revisado por:	Dra. Daisy Margarita González Díaz			
- Todo el proceso ha sido realizado con los estándares de calidad lo que asegura la correcta emisión de resultados. - Su información será manejada correctamente de acuerdo a la confidencialidad. - Los resultados y muestras serán almacenadas un plazo de 2 meses máximo. El original de este documento se encuentra en los archivos del CME, por lo que el adecuado o mal uso del mismo, es responsabilidad del cliente.				

ANEXO 36 Imágenes de SEM de mezcla de harinas.



ANEXO 37 Imágenes de SEM en extruidos.



ANEXO 38 *Datos de textura (N).*

TRATAMIENTO	HUMEDAD	TEMPERATURA	RPM	R1	R2	R3
T1	12	130	350	335.78	334.55	337.29
T2	17	130	350	454.97	450.60	369.50
T3	12	150	350	257.47	301.46	296.00
T4	17	150	350	454.17	356.37	438.02
T5	12	140	300	314.18	309.97	331.25
T6	17	140	300	432.92	418.77	455.43
T7	12	140	400	260.84	295.19	330.01
T8	17	140	400	460.11	293.43	455.97
T9	14.5	130	300	390.68	351.91	395.04
T10	14.5	150	300	348.43	285.05	334.66
T11	14.5	130	400	310.09	286.78	345.33
T12	14.5	150	400	338.54	310.32	288.18
T13	14.5	140	350	448.23	419.31	420.07
T14	14.5	140	350	307.21	435.47	371.34
T15	14.5	140	350	377.75	451.47	325.30
T16	14.5	140	350	425.27	427.97	427.82
T17	14.5	140	350	223.94	454.84	390.20

ANEXO 39 *Datos de índice de expansión (IE).*

TRATAMIENTO	HUMEDAD	TEMPERATURA	RPM	R1	R2	R3
T1	12	130	350	2.178	2.19	2.038
T2	17	130	350	1.9	1.816	1.92
T3	12	150	350	2.274	2.272	2.266
T4	17	150	350	1.858	1.86	2.014
T5	12	140	300	2.328	2.142	2.144
T6	17	140	300	1.87	1.898	1.832
T7	12	140	400	2.19	2.308	2.174
T8	17	140	400	1.824	1.782	1.82
T9	14.5	130	300	2.022	2.032	2.074
T10	14.5	150	300	2.096	2.068	2.082
T11	14.5	130	400	2.13	2.11	2.102
T12	14.5	150	400	2.166	2.14	2.116
T13	14.5	140	350	1.974	1.96	1.868
T14	14.5	140	350	1.816	2.02	2.008
T15	14.5	140	350	1.886	1.938	1.932
T16	14.5	140	350	1.904	1.946	2.062
T17	14.5	140	350	1.926	1.934	1.882

ANEXO 40 Datos de humedad.

TRATAMIENTO	HUMEDAD	TEMPERATURA	RPM	R1	R2	R3
T1	12	130	350	8.49	8.68	8.81
T2	17	130	350	11.14	11.34	11.47
T3	12	150	350	6.39	6.58	6.7
T4	17	150	350	10.9	11.1	11.23
T5	12	140	300	7.61	7.8	7.92
T6	17	140	300	11.18	11.38	11.52
T7	12	140	400	7.47	7.66	7.78
T8	17	140	400	11.26	11.46	11.61
T9	14.5	130	300	10.27	10.46	10.59
T10	14.5	150	300	10.24	10.44	10.57
T11	14.5	130	400	10.01	10.2	10.33
T12	14.5	150	400	9.16	9.36	9.49
T13	14.5	140	350	10.58	10.78	10.91
T14	14.5	140	350	10.5	10.7	10.83
T15	14.5	140	350	10.57	10.77	10.9
T16	14.5	140	350	10.33	10.54	10.67
T17	14.5	140	350	10.81	11.02	11.15

ANEXO 41 Datos colorimetría CIELAB.

TRATAMIENTO	HUMEDAD (%)	TEMPERATURA (°C)	rpm	R1			R2			R3		
				L	A	B	L	A	B	L	A	B
T1	12	130	350	49.08	6.88	15.68	51.76	6.96	14.65	52.00	7.68	15.79
T2	17	130	350	42.97	5.77	8.81	41.64	5.76	7.68	42.65	4.79	10.68
T3	12	150	350	52.02	7.53	16.27	53.79	7.75	15.78	55.79	6.95	14.68
T4	17	150	350	43.62	6.64	10.78	44.75	6.34	9.79	43.66	5.64	11.88
T5	12	140	300	50.57	6.12	13.32	50.78	7.74	13.79	49.75	7.98	13.78
T6	17	140	300	46.07	5.33	9.90	42.07	5.39	8.99	44.77	5.79	10.68
T7	12	140	400	49.26	7.13	14.27	48.88	7.72	14.99	49.89	6.12	12.78
T8	17	140	400	42.08	6.25	8.05	40.88	5.37	7.55	42.39	5.77	10.27
T9	14.5	130	300	45.25	5.04	11.24	46.69	5.74	11.79	44.82	5.82	10.99
T10	14.5	150	300	42.19	5.00	10.08	42.90	5.89	10.78	45.87	6.89	11.99
T11	14.5	130	400	45.03	5.14	10.38	44.87	5.74	10.79	45.18	6.72	10.87
T12	14.5	150	400	44.43	6.52	12.40	44.75	7.87	12.75	46.09	6.94	11.91
T13	14.5	140	350	46.96	6.22	9.27	45.73	6.33	10.36	46.98	6.68	11.77
T14	14.5	140	350	44.60	6.77	11.59	45.54	5.17	9.79	45.15	6.47	10.76
T15	14.5	140	350	43.91	6.37	13.63	44.24	5.66	12.85	44.76	6.65	12.65
T16	14.5	140	350	47.75	6.58	12.94	45.75	6.69	11.61	47.64	5.48	11.58
T17	14.5	140	350	45.68	6.13	12.39	44.44	6.88	12.42	45.78	6.46	10.64

ANEXO 42 *Datos de índice de solubilidad de agua (ISA).*

TRATAMIENTO	HUMEDAD	TEMPERATURA	RPM	R1	R2	R3
T1	12	130	350	22.43	22.61	22.76
T2	17	130	350	20.51	20.66	20.75
T3	12	150	350	23.91	24.1	24.23
T4	17	150	350	19.29	19.41	19.5
T5	12	140	300	23.12	23.3	23.42
T6	17	140	300	16.95	17.09	17.2
T7	12	140	400	21.48	21.62	21.7
T8	17	140	400	16.2	16.34	16.41
T9	14.5	130	300	22.37	22.5	22.61
T10	14.5	150	300	19.57	19.7	19.79
T11	14.5	130	400	21.31	21.46	21.55
T12	14.5	150	400	21.09	21.23	21.28
T13	14.5	140	350	21	21.14	21.22
T14	14.5	140	350	21.66	21.79	21.86
T15	14.5	140	350	21.21	21.35	21.4
T16	14.5	140	350	20.73	20.87	20.94
T17	14.5	140	350	20.21	20.35	20.42

ANEXO 43 *Datos de índice de absorción de agua (IAA).*

TRATAMIENTO	HUMEDAD	TEMPERATURA	RPM	R1	R2	R3
T1	12	130	350	7.63	7.8	7.94
T2	17	130	350	6.91	7.08	7.19
T3	12	150	350	8.05	8.23	8.35
T4	17	150	350	7.12	7.26	7.36
T5	12	140	300	7.94	8.12	8.24
T6	17	140	300	6.87	7.04	7.15
T7	12	140	400	7.98	8.16	8.28
T8	17	140	400	6.84	7.01	7.11
T9	14.5	130	300	7.33	7.5	7.61
T10	14.5	150	300	7.4	7.58	7.69
T11	14.5	130	400	7.42	7.59	7.71
T12	14.5	150	400	7.55	7.73	7.84
T13	14.5	140	350	7.28	7.45	7.54
T14	14.5	140	350	7.29	7.46	7.55
T15	14.5	140	350	7.12	7.29	7.39
T16	14.5	140	350	7.3	7.46	7.57
T17	14.5	140	350	7.1	7.27	7.37

ANEXO 44 *Datos de Evaluación sensorial*

FORMULACIÓN	R1	R2	R3
F1	2.67	2.7	2.33
F1	3.67	2.7	3.33
F1	4.00	3.3	3.00
F1	1.67	2.3	1.67
F1	2.67	3.0	3.67
F1	4.67	2.0	2.67
F1	2.33	3.0	3.00
F1	2.67	3.0	3.00
F1	2.33	2.3	2.33
F1	2.67	3.3	3.33
F1	3.00	3.3	3.00
F1	2.00	1.7	2.00
F1	2.67	3.3	3.33
F1	3.67	4.0	3.67
F1	1.00	1.7	1.67
F1	3.33	2.7	2.33
F1	3.00	1.0	2.67
F1	4.00	2.7	3.00
F1	1.67	1.3	1.33
F1	1.67	2.0	1.33
F1	2.67	2.3	2.67
F1	2.00	3.3	2.33
F1	2.00	2.0	2.00
F1	1.67	2.0	1.33
F1	2.33	2.3	1.67
F1	3.00	3.0	2.67
F1	2.33	3.0	3.67
F1	1.67	2.3	1.33
F1	1.67	1.7	1.67
F1	1.67	2.0	1.00
F1	2.00	3.3	2.67
F1	2.00	2.0	2.67
F1	2.00	1.7	2.67
F1	2.67	2.7	2.67
F1	2.00	2.0	2.67
F1	1.33	1.7	1.00
F1	1.33	2.0	1.00
F1	2.00	2.3	2.00
F1	1.67	2.0	1.67
F1	2.67	2.0	2.67

F1	2.00	1.7	2.33
F1	2.33	4.0	5.00
F1	2.00	2.0	2.00
F1	2.33	1.7	2.67
F1	2.00	2.0	2.00
F1	3.33	3.7	4.00
F1	3.33	1.3	1.67
F1	2.67	3.0	4.00
F1	3.00	2.7	2.67
F1	2.67	3.0	2.67
F2	2.33	3.3	3.00
F2	3.33	2.0	2.00
F2	2.33	2.0	2.33
F2	3.33	1.3	3.00
F2	1.33	1.7	1.33
F2	1.67	1.7	1.67
F2	2.67	3.0	3.33
F2	3.33	2.3	2.67
F2	3.00	2.7	3.00
F2	1.67	1.0	1.00
F2	1.33	1.3	1.33
F2	2.33	3.7	4.33
F2	1.67	1.7	1.67
F2	1.67	1.3	1.33
F2	1.00	1.7	1.00
F2	2.33	1.3	2.33
F2	1.67	2.0	2.33
F2	2.33	2.7	2.67
F2	3.00	3.3	3.33
F2	1.67	1.0	1.00
F2	1.67	2.3	1.67
F2	2.00	2.0	1.67
F2	2.00	2.7	2.33
F2	2.00	2.0	2.00
F2	1.67	2.0	1.00
F2	1.67	1.7	1.00
F2	2.33	2.3	2.00
F2	3.00	3.3	3.33
F2	3.00	2.7	3.00
F2	2.33	2.7	3.00
F2	2.00	1.0	2.33
F2	2.00	2.0	1.33
F2	4.00	4.3	3.33

F2	1.33	2.3	2.00
F2	2.00	1.0	1.67
F2	4.00	3.0	3.00
F2	2.33	2.7	2.67
F2	1.67	1.3	2.33
F2	1.67	1.7	1.67
F2	2.33	1.7	2.67
F2	2.33	2.7	2.67
F2	1.33	3.7	2.00
F2	2.67	2.7	3.00
F2	4.00	4.3	4.00
F2	3.00	3.0	3.00
F2	2.67	2.7	2.67
F2	1.33	1.0	1.67
F2	2.33	3.3	2.67
F2	2.67	1.3	1.33
F2	2.67	2.3	2.00
F3	4.00	3.0	3.33
F3	1.67	2.0	1.33
F3	3.67	3.0	2.67
F3	1.67	1.3	1.33
F3	1.67	2.0	2.00
F3	2.33	2.3	2.33
F3	1.67	1.7	1.67
F3	2.67	3.0	3.00
F3	3.67	2.3	3.00
F3	2.33	2.0	2.00
F3	2.00	2.7	1.33
F3	1.67	2.0	1.67
F3	3.67	3.3	4.00
F3	3.33	3.3	3.33
F3	1.67	2.7	2.00
F3	1.00	1.0	1.00
F3	2.67	2.7	2.67
F3	3.00	3.0	3.00
F3	2.33	3.0	2.33
F3	2.00	2.0	2.00
F3	2.33	2.3	3.00
F3	4.00	4.0	4.00
F3	1.00	1.7	1.00
F3	2.67	2.0	2.33
F3	2.33	2.0	2.33
F3	4.00	3.0	3.33

F3	3.00	3.0	2.67
F3	2.00	2.0	2.67
F3	3.33	3.3	4.00
F3	3.33	3.3	3.67
F3	3.33	3.3	3.33
F3	2.00	2.3	2.00
F3	3.00	3.0	3.00
F3	2.67	2.7	2.67
F3	2.00	2.3	2.00
F3	2.33	3.0	2.33
F3	3.33	3.0	3.33
F3	1.00	1.7	1.00
F3	4.00	4.0	4.00
F3	2.33	3.0	2.00
F3	2.00	1.0	2.00
F3	3.00	2.7	3.00
F3	3.67	3.7	3.67
F3	2.67	2.7	2.33
F3	3.00	3.0	3.00
F3	2.33	2.7	3.00
F3	1.33	2.0	2.00
F3	3.67	3.0	2.67
F3	1.67	2.3	2.00
F3	3.00	2.7	2.67
F4	1.67	2.0	1.67
F4	2.67	3.3	2.33
F4	2.33	2.3	2.67
F4	3.33	3.0	3.33
F4	3.00	3.0	3.00
F4	3.67	4.0	4.33
F4	4.33	4.7	4.00
F4	1.00	2.3	2.00
F4	3.00	3.0	3.00
F4	2.67	2.0	2.00
F4	2.00	2.0	2.00
F4	2.33	2.7	2.33
F4	3.00	3.7	3.33
F4	2.33	2.0	2.00
F4	3.67	2.3	3.00
F4	2.67	2.7	2.67
F4	4.00	4.0	4.00
F4	4.00	4.0	4.00
F4	2.67	3.3	3.67

F4	3.67	3.3	3.00
F4	5.00	5.0	5.00
F4	3.33	3.3	4.00
F4	1.67	2.0	2.00
F4	4.00	3.3	4.33
F4	2.33	2.3	3.00
F4	3.00	3.0	3.00
F4	3.00	2.7	3.00
F4	2.67	3.7	3.33
F4	3.00	2.3	2.33
F4	3.33	4.0	4.33
F4	3.67	3.7	3.67
F4	2.67	2.7	2.67
F4	3.33	3.0	3.33
F4	2.33	2.3	2.33
F4	2.00	3.0	2.67
F4	2.33	3.0	3.00
F4	3.33	3.3	2.67
F4	3.33	3.0	3.00
F4	3.33	3.0	4.00
F4	3.33	3.0	4.00
F4	2.33	2.3	2.67
F4	3.33	3.3	3.00
F4	3.00	3.0	3.00
F4	4.00	4.0	4.00
F4	2.67	2.7	2.00
F4	3.00	3.3	2.67
F4	2.67	2.3	2.67
F4	3.67	4.0	3.33
F4	4.00	4.0	4.00
F4	3.67	2.7	4.00
F5	1.67	1.7	1.67
F5	1.33	1.7	1.33
F5	1.00	2.0	1.33
F5	2.00	2.0	2.00
F5	1.33	1.3	1.33
F5	3.33	3.0	3.00
F5	3.67	3.7	2.00
F5	1.33	1.7	1.67
F5	3.67	3.3	3.33
F5	1.67	1.7	1.33
F5	2.67	3.3	3.67
F5	2.00	2.0	2.00

F5	2.00	2.7	2.67
F5	2.33	2.3	2.33
F5	1.67	1.7	1.67
F5	3.00	3.0	3.00
F5	2.67	3.7	2.67
F5	2.67	2.7	2.67
F5	2.00	2.3	2.67
F5	1.33	1.3	1.33
F5	3.00	2.0	2.33
F5	2.33	2.7	2.00
F5	2.33	2.3	2.67
F5	2.33	2.7	2.33
F5	2.67	2.3	2.67
F5	3.00	3.0	3.00
F5	1.67	1.7	1.67
F5	2.00	1.7	2.33
F5	1.67	1.7	1.67
F5	2.00	2.0	2.00
F5	2.67	3.3	2.33
F5	1.00	1.0	1.33
F5	2.00	2.0	2.00
F5	3.33	3.7	3.33
F5	2.33	2.3	2.33
F5	1.33	1.3	1.33
F5	1.67	1.3	1.67
F5	1.67	3.0	1.33
F5	1.67	1.3	1.67
F5	2.00	3.0	3.00
F5	2.33	3.0	2.33
F5	1.33	2.3	1.00
F5	2.00	2.3	1.67
F5	2.67	2.3	2.33
F5	1.67	1.3	1.67
F5	3.00	3.0	3.00
F5	1.67	2.0	2.33
F5	1.00	1.7	1.33
F5	1.33	1.7	1.00
F5	2.00	2.0	1.00
F6	1.67	1.7	1.67
F6	1.00	1.0	1.33
F6	2.00	1.3	1.67
F6	1.67	1.7	1.67
F6	1.67	1.7	1.67

F6	2.67	2.0	3.33
F6	4.67	4.3	4.67
F6	1.67	1.7	1.67
F6	3.33	3.3	3.33
F6	2.00	1.7	1.33
F6	2.00	2.7	3.00
F6	2.00	2.0	2.00
F6	2.00	2.0	2.00
F6	2.00	2.0	2.00
F6	1.67	1.7	1.33
F6	3.00	3.0	3.00
F6	3.00	2.7	2.67
F6	2.67	2.7	2.67
F6	2.00	2.7	2.33
F6	1.33	1.3	1.33
F6	2.33	2.3	2.33
F6	2.33	2.0	1.33
F6	2.67	2.3	2.67
F6	2.00	2.0	2.00
F6	2.00	2.0	2.00
F6	3.00	3.0	3.00
F6	2.67	2.7	2.67
F6	2.33	2.0	2.00
F6	2.00	2.0	2.00
F6	2.00	2.0	2.00
F6	2.33	3.7	2.67
F6	1.00	1.0	1.67
F6	1.67	1.0	1.67
F6	2.00	2.0	2.33
F6	2.67	2.0	2.67
F6	1.00	1.7	1.33
F6	1.67	1.7	1.67
F6	1.67	1.0	1.33
F6	2.33	2.7	2.67
F6	2.67	2.3	2.67
F6	2.33	2.3	2.33
F6	1.67	1.3	1.33
F6	2.00	2.7	2.33
F6	2.33	2.3	2.00
F6	1.67	1.7	1.67
F6	3.00	3.0	3.00
F6	1.67	1.7	1.67
F6	2.33	2.7	2.67

F6	2.00	2.0	2.67
F6	2.00	1.3	1.00
F7	1.67	1.7	1.67
F7	1.00	1.0	1.00
F7	3.67	3.3	3.67
F7	1.67	1.7	1.67
F7	1.33	1.3	1.33
F7	2.67	2.7	2.67
F7	4.00	3.7	3.00
F7	2.33	2.3	2.33
F7	3.33	3.3	3.33
F7	1.67	1.3	1.33
F7	2.67	2.0	2.33
F7	2.00	2.0	2.00
F7	2.67	2.7	3.33
F7	3.00	3.0	3.00
F7	2.67	2.3	2.33
F7	3.00	3.0	3.00
F7	3.00	3.0	3.00
F7	2.67	2.7	2.67
F7	2.67	2.7	2.67
F7	1.67	1.7	1.33
F7	3.00	3.0	3.00
F7	1.67	1.7	1.67
F7	4.00	3.7	3.00
F7	1.33	2.3	1.67
F7	2.67	2.7	2.33
F7	3.00	3.0	3.00
F7	2.67	2.7	2.67
F7	2.00	2.0	2.00
F7	2.00	2.0	1.00
F7	2.00	2.0	2.00
F7	2.67	3.7	2.67
F7	1.67	2.0	2.00
F7	2.33	3.0	3.00
F7	3.33	4.0	3.67
F7	3.33	2.7	3.33
F7	2.33	1.7	2.67
F7	1.67	1.7	1.33
F7	3.00	2.0	2.33
F7	2.33	2.7	2.33
F7	2.33	1.7	2.67
F7	2.67	2.7	2.00

F7	2.67	2.0	1.67
F7	2.00	2.7	2.67
F7	3.00	3.0	3.00
F7	1.67	1.7	1.67
F7	3.00	3.0	3.00
F7	2.67	2.3	2.67
F7	2.67	2.7	2.00
F7	2.67	2.3	2.67
F7	2.33	2.3	2.00
F8	1.67	1.3	1.67
F8	1.67	1.7	1.33
F8	4.00	3.0	3.67
F8	2.67	2.7	2.67
F8	1.67	1.3	1.67
F8	4.00	4.0	4.00
F8	4.67	3.7	3.00
F8	2.67	2.7	2.67
F8	3.33	3.3	3.33
F8	1.67	1.3	1.33
F8	3.00	2.3	2.67
F8	3.33	3.3	3.33
F8	4.00	4.0	4.00
F8	3.67	3.7	3.67
F8	2.67	1.7	2.00
F8	4.00	4.0	4.00
F8	4.00	4.0	4.00
F8	3.33	2.7	3.33
F8	3.67	4.0	4.33
F8	1.00	1.0	1.00
F8	3.67	3.7	3.67
F8	2.33	2.3	2.33
F8	4.00	3.7	3.00
F8	1.67	2.0	2.33
F8	2.00	2.0	2.67
F8	4.00	4.0	4.00
F8	2.67	2.7	2.67
F8	2.33	2.3	2.00
F8	1.67	1.7	1.67
F8	2.00	2.0	2.00
F8	4.00	2.7	3.33
F8	1.00	1.0	1.33

F8	3.00	2.7	3.00
F8	3.33	3.3	3.00
F8	3.00	3.3	3.67
F8	1.33	2.7	3.00
F8	1.67	2.0	1.00
F8	3.67	3.3	3.67
F8	3.00	2.7	3.67
F8	3.00	2.7	3.00
F8	2.33	3.0	2.33
F8	3.00	3.0	3.33
F8	3.33	4.0	3.67
F8	3.67	3.7	3.67
F8	1.67	2.0	1.00
F8	4.00	4.0	4.00
F8	2.67	1.7	2.00
F8	3.67	3.3	3.67
F8	2.67	3.3	3.67
F8	4.00	3.7	4.00



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
"Universidad Pública de Calidad"