

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



T E S I S

**EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD Y TEXTURA EN UN SNACK ELABORADO CON
MAÍZ MORADO (*Zea mays L.*) Y QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd.*)
EMPLEANDO DIFERENTES TEMPERATURAS DE EXTRUSIÓN Y
FORMULACIONES DE MEZCLAS ALIMENTICIAS**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
NELSON HERNAN ATALAYA TACILLA**

**ASESOR:
Dr. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ**

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:

Nelson Hernan Atalaya Tacilla

DNI: N° 75653418

Escuela Profesional/Unidad UNC:

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

2. Asesor:

Dr. Jimy Frank Oblitas Cruz

Facultad/Unidad UNC:

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

3. Grado académico o título profesional

Bachiller

Título profesional

Segunda especialidad

Maestro

Doctor

4. Tipo de Investigación:

Tesis

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:

"EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD Y TEXTURA EN UN SNACK ELABORADO CON MAÍZ MORADO (*Zea mays L.*) Y QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd.*) EMPLEANDO DIFERENTES TEMPERATURAS DE EXTRUSIÓN Y FORMULACIONES DE MEZCLAS ALIMENTICIAS"

6. Fecha de evaluación: 08/01/2026

7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) ()

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 17%

9. Código Documento: oid: 3117:544863782

10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 09/01/2026

 Dr. Jimy Frank Oblitas Cruz DNI: 40043738	<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
--	--



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
“NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA”
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los tres días del mes de noviembre del año dos mil veinticinco, se reunieron en el ambiente 2H - 204 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según Resolución de Consejo de Facultad N° 532-2025-FCA-UNC, de fecha 15 de setiembre del 2025, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: “EVALUACIÓN DE LA HUMEDAD Y TEXTURA EN UN SNACK ELABORADO CON MAÍZ MORADO (*Zea mays L.*) Y QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) EMPLEANDO DIFERENTES TEMPERATURAS DE EXTRUSIÓN Y FORMULACIONES DE MEZCLAS ALIMENTICIAS”, realizada por el Bachiller NELSON HERNAN ATALAYA TACILLA para optar el Titulo Profesional de INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS.

A las ocho horas y quince minutos, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de diecisiete (17); por tanto, el Bachiller queda expedido para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Titulo Profesional de INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS.

A las nueve horas y doce minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachin Chávez
PRESIDENTE

Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
SECRETARIO

Dr. José Gerardo Salihuana Granados
VOCAL

Dr. Jimy Frank Oblitas Cruz
ASESOR

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a mi Dios, por guiarme, fortalecerme y concederme la fortaleza necesaria para alcanzar este logro ya que sin su ayuda nada de esto podría ser posible.

A mis queridos padres, por brindarme su apoyo incondicional, por sus sacrificios y por enseñarme que con esfuerzo y perseverancia todo es posible. Ustedes son mi inspiración y mi ejemplo a seguir.

A mis hermanas, por estar conmigo en los momentos felices y difíciles, por su cariño y apoyo que han sido un motor que me ha impulsado a seguir adelante, y esta tesis es también un reflejo de todo ese vínculo muy especial que nos une.

A mi novia, por tu comprensión y por ser mi compañía en cada momento. Este logro también es nuestro, por todo lo que compartimos y lo que aún nos espera.

Este logro representa mucho más que un título; es el resultado de la unión, el amor y la dedicación de todos ustedes. Es un homenaje a su presencia constante en mi vida y a todo lo que he aprendido al lado de todos ustedes.

Con todo mi corazón,

Nelson Hernán.

Agradecimientos

Quiero agradecer profundamente a Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y mi inspiración constante. Gracias por bendecirme con su infinita misericordia, por darme la paciencia y la fortaleza para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Sin Su gracia, este logro no sería posible.

A mis padres, gracias por su amor incondicional, por sus sacrificios y por ser mi soporte en cada paso. Este logro también es suyo, por todo lo que han hecho y siguen haciendo por mí.

A mis hermanos, gracias por ser mis compañeros de vida, por su apoyo, por sus palabras de aliento y porque siempre están allí en los momentos importantes.

A mi novia, gracias por tu amor, por tu apoyo incondicional y por ser mi compañía en cada paso del camino. Tu presencia y confianza han sido fundamentales para mí.

Al Dr. Jimy Frank Oblitas Cruz (asesor de tesis) por toda la ayuda brindada durante la ejecución del presente trabajo de investigación.

A las empresas Nutri Natural Food's del Perú S.A.C y Laboratorio Ofilab Perú S.A.C, mi más sincero agradecimiento por prestarme sus instalaciones para la realización de mis muestras. Su colaboración y apoyo fueron fundamentales para poder llevar a cabo esta parte de mi proyecto, y estoy muy agradecido por confiar en mí y facilitarme este paso tan importante.

A todos ustedes,

Este logro representa el esfuerzo conjunto, la confianza y la fe que han depositado en mí. Es un agradecimiento sincero por ser parte de mi vida y por acompañarme en esta admirable travesía.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de la investigación.....	3
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Objetivo general	4
1.3.1. Objetivos específicos	4
1.4. Justificación de la investigación.....	5
1.5. Hipótesis de la investigación.....	6
CAPITULO II.....	7
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. Maíz morado (<i>Zea mays</i> L.)	10
2.2.1.1. Variedades de maíz morado.....	11
2.2.1.2. Variedades mejoradas de maíz morado	12
2.2.1.3. Composición química del maíz morado	13
2.2.1.4. Propiedades y beneficios del maíz morado	13
2.2.1.5. Usos del maíz morado	14
2.2.2. Quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.).....	14
2.2.2.1. Composición nutricional de la quinua.....	15
2.2.2.2. Productos extruidos de quinua	17
2.2.3. Extrusión	18
2.2.3.1. Tornillos extrusores de uno o dos tornillos.....	20
2.2.3.2. Factores que influyen en la extrusión.....	21
2.2.3.3. Condiciones de operación que influyen en la extrusión	22
2.2.3.4. Calidad nutricional de los extruidos.....	23
2.2.3.5. Ventajas del proceso de extrusión.....	23

2.2.3.6. Cambios de los componentes en la extrusión	24
2.2.3.7. Compuestos coloreados en extruídos	28
2.2.3.8. Propiedades organolépticas que influyen en la extrusión.....	29
2.2.4. Snacks	29
2.2.4.1. Tipos de snacks.....	29
2.2.5. Contenido de humedad en alimentos	31
2.2.6. Textura instrumental en alimentos.....	31
2.2.6.1. Análisis de perfil de textura.....	33
2.2.6.2. Equipo analizador de textura	34
2.2.6.3. Importancia del perfil de textura en la industria alimentaria	37
2.2.6.4. Texturómetro Brookfield.....	37
2.3. Definición de términos básicos	38
CAPÍTULO III	40
III. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación.....	40
3.2. Materia prima	43
3.3. Materiales y equipo de laboratorio	43
3.4. Métodos de análisis	44
3.4.1. Determinación del contenido de humedad	44
3.4.2. Determinación de textura instrumental	44
3.5. Metodología experimental	44
3.6. Variables de estudio.....	45
3.6.1. Variables independientes	45
3.6.2. Variables dependientes	45
3.7. Unidad de análisis, población, muestra de estudio	45
3.7.1. Unidad de análisis.....	45
3.7.2. Población.....	45
3.7.3. Muestra de estudio.....	45
3.8. Proceso de obtención del snack extruido de maíz morado y quinua.....	49

3.9.	Factores de estudio	55
3.10.	Diseño experimental y arreglo de los tratamientos.....	55
3.11.	Modelo estadístico.....	57
3.12.	Análisis de varianza.....	58
3.13.	Matriz de tratamientos	59
	CAPÍTULO IV	60
	IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
4.1.	Contenido de humedad (%) en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua	60
4.2.	Textura instrumental en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua	68
4.2.1.	Dureza (gf) en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua.....	68
4.2.2.	Fracturabilidad (gf) en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua	74
	CAPÍTULO V	81
	V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
5.1.	Conclusiones	81
5.2.	Recomendaciones	81
	CAPÍTULO VI	82
	VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
	CAPÍTULO VII.....	94
	VII. ANEXOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	13
Composición química del maíz morado.....	13
Tabla 2.....	16
Composición nutricional de la quinua.....	16
Tabla 3.....	16
Contenido de minerales en quinua	16
Tabla 4.....	17
Contenido de fibra insoluble, soluble y fibra dietética total de quinua por cada 100 g.....	17
Tabla 5.....	32
Propiedades primarias de la textura.....	32
Tabla 6.....	33
Propiedades secundarias de la textura.....	33
Tabla 7.....	55
Factores de estudio	55
Tabla 8.....	58
Análisis de varianza para factorial de 2 factores (A y B) en un diseño completamente al azar con tres repeticiones.....	58
Tabla 9.....	59
Matriz de tratamientos.....	59
Tabla 10.....	60
Promedios de contenido de humedad (%) en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua.....	60
Tabla 11.....	61
Análisis de varianza para humedad para snacks de harina de maíz morado y harina de quinua .	61
Tabla 12.....	68
Promedios de dureza (gf) en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua	68
Tabla 13.....	69
Análisis de varianza para dureza en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua	69

Tabla 14.....	74
Promedios de fracturabilidad (gf) en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua.....	74
Tabla 15.....	75
Análisis de varianza para fracturabilidad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	10
Maíz morado (<i>Zea mays L.</i>)	10
Figura 2	15
Quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd.</i>).....	15
Figura 3	17
Producto extruido a base de maíz morado y quinua en forma de esferas.....	17
Figura 4	20
Diseño genérico de un extrusor de tornillo simple	20
Figura 5	21
Tornillo extrusor Brabender® de una pieza, relación de compresión 3:1	21
Figura 6	25
Modelo propuesto - degradación del almidón durante el proceso de extrusión.....	25
Figura 7	35
Analizador de textura	35
Figura 8	35
Gráfica general del análisis de perfil de textura	35
Figura 9	40
Mapa de ubicación “Nutri Natural Food’s del Perú S.A.C.”	40
Figura 10	41
Mapa de ubicación – Universidad Nacional de Cajamarca	41
Figura 11	42
Mapa de ubicación de laboratorio (OFILAB) SAC	42
Figura 12	48
Proceso de elaboración de snack extruído de harina de maíz morado y harina de quinua	48
Figura 13	49
Recepción de materia prima	49
Figura 14	49
Desgranado de mazorcas	49

Figura 15	50
Selección de materia prima	50
Figura 16	50
Molienda	50
Figura 17	51
Pesado	51
Figura 18	51
Mezclado	51
Figura 19	52
Hervido de corontas	52
Figura 20	52
Adición del líquido (agua de coronta).....	52
Figura 21	53
Extrusión	53
Figura 22	53
Enfriado.....	53
Figura 23	54
Pesado de producto final	54
Figura 24	54
Envasado y almacenado	54
Figura 25	56
Esquema de tratamientos.....	56
Figura 26	63
Evolución del gránulo del almidón	63
Figura 27	64
Gráfico con efecto estandarizado para humedad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua.....	64
Figura 28	64
Gráfico de efectos principales para humedad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua.....	64

Figura 29	65
Gráfico de superficie de respuesta para humedad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua.....	65
Figura 30	66
Promedios de contenido de humedad (%) en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua.....	66
Figura 31	71
Gráfico con efecto estandarizado para dureza en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua.....	71
Figura 32	71
Gráfico de efectos principales para dureza en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua	71
Figura 33	72
Gráfico de superficie de respuesta para dureza en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua.....	72
Figura 34	73
Promedios de dureza (gf) en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua.....	73
Figura 35	77
Representación de la amilosa, la amilopectina y el gránulo de almidón.....	77
Figura 36	78
Gráfico con efecto estandarizado para fracturabilidad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua.....	78
Figura 37	78
Gráfico de efectos principales para fracturabilidad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua	78
Figura 38	79
Gráfico de superficie de respuesta para fracturabilidad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua.....	79
Figura 39	80
Promedios de fracturabilidad (gf) en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua	80

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I	94
Ensayo de laboratorio – snack de harina de maíz morado y harina de quinua	94
ANEXO II	96
Formulaciones para elaboración de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua	96
ANEXO III.....	97
Gráficos de textura instrumental (dureza y fracturabilidad) en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua.....	97
ANEXO IV.....	99
Galería fotográfica (materia prima, máquinas, equipos y proceso de elaboración)	99
ANEXO V	100
Galería fotográfica – Determinación de humedad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua.....	100
ANEXO VI.....	101
Galería fotográfica – Análisis de textura instrumental en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua	101

RESUMEN

La investigación se desarrolló en tres ambientes: la elaboración del snack de maíz morado y quinua se realizó en la empresa “Nutri Natural Food’s del Perú S.A.C.”; ubicada en el distrito de Llacanora (Cajamarca), el análisis de humedad se realizó en el laboratorio de “Bioingeniería y Fermentaciones Industriales” de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca y el análisis de textura instrumental (dureza y fracturabilidad) se realizó en el laboratorio: “OFILAB PERÚ – SAC”, ciudad de Lima. El objetivo fue evaluar la humedad y textura instrumental en un snack elaborado con maíz morado (*Zea mays* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) empleando diferentes: temperaturas de extrusión y formulaciones de mezclas alimenticias. Se aplicó un diseño experimental completamente al azar (DCA). Se utilizó temperaturas de extrusión de (90°C, 100°C, 110°C) como factor A, y formulaciones de harina de maíz morado/harina de quinua de (50%/50%, 60%/40%, 70%/30%) como factor B, haciendo un total de 9 tratamientos con 3 repeticiones, evaluados con frecuencia de 5 días. Resultados: El mayor contenido de humedad fue 9.73% en T6 extruído a (100°C) formulación (70% harina de maíz morado/30% harina de quinua), el menor contenido de humedad fue 7.97% en T8 extruído a (110°C) formulación (60% harina de maíz morado/40% harina de quinua), la mayor dureza fue 74.30 gf en T6 extruído a (100°C) formulación (70% harina de maíz morado/30% harina de quinua), la menor dureza fue 41.86 gf en T9 extruído a (110°C) formulación (70% harina de maíz morado/30% harina de quinua), la mayor fracturabilidad fue 23.65 gf en T3 extruído a (90°C) formulación (70% harina de maíz morado/30% harina de quinua) y la menor fracturabilidad fue 10.67 gf en T1 extruído a (90°C) formulación (50% harina de maíz morado/50% harina de quinua). Se concluye que el factor B (formulaciones harina de maíz morado/harina de quinua) fue significativo para contenido de humedad ($p < 0.05$), la interacción de factores AB (temperatura de extrusión*formulaciones harina de maíz morado/harina de quinua) fue significativo para dureza y fracturabilidad ($p < 0.05$).

Palabras clave: harina de maíz morado, harina de quinua, snacks, temperatura de extrusión, formulaciones, mezclas alimenticias, humedad, textura instrumental, dureza, fracturabilidad.

ABSTRACT

The research was conducted in three settings: the production of the purple corn and quinoa snack took place at the company “Nutri Natural Food’s del Perú S.A.C.”, located in the district of Llacanora (Cajamarca); the moisture analysis was performed at the “Bioengineering and Industrial Fermentations” laboratory of the School of Food Industry Engineering at the National University of Cajamarca; and the instrumental texture analysis (hardness and fractality) was performed at the laboratory “OFILAB PERÚ – SAC” in Lima. The objective was to evaluate the moisture and instrumental texture of a snack made with purple corn (*Zea mays* L.) and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using different extrusion temperatures and food mixture formulations. A completely randomized design (DCA) was applied. Extrusion temperatures of (90°C, 100°C, 110°C) were used as factor A, and purple corn flour/quinoa flour formulations of (50%/50%, 60%/40%, 70%/30%) were used as factor B, making a total of 9 treatments with 3 repetitions, evaluated every 5 days. Results: The highest moisture content was 9.73% in T6 extruded at (100°C) formulation (70% purple corn flour/30% quinoa flour), the lowest moisture content was 7.97% in T8 extruded at (110°C) formulation (60% purple corn flour/40% quinoa flour), the highest hardness was 74.30 gf in T6 extruded at (100°C) formulation (70% purple corn flour/30% quinoa flour), the lowest hardness was 41.86gf in T9 extruded at (110°C) formulation (70% purple corn flour/30% quinoa flour), the highest fractality was 23.65 gf in T3 extruded at (90°C) formulation (70% purple corn flour/30% quinoa flour) and the lowest fractality was 10.67 gf in T1 extruded at 90°C (50% purple corn flour/50% quinoa flour). It was concluded that factor B (purple corn flour/quinoa flour formulations) was significant for moisture content ($p < 0.05$), and the interaction of factors AB (extrusion temperature*purple corn flour/quinoa flour formulations) was significant for hardness and fractality ($p < 0.05$).

Keywords: purple corn flour, quinoa flour, snacks, extrusion temperature, formulations, food mixtures, moisture, instrumental texture, hardness, fractality.

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

El maíz morado oriundo de los andes del Perú, donde se ha cultivado desde la época preincaica, considerado un alimento ancestral, con evidencia de su cultivo encontrado en la cultura Moche hace más de 2 500 años. Posee propiedades nutricionales y funcionales, por su alto contenido de antioxidantes como las antocianinas, compuestos que ayudan a proteger las células del daño, combaten enfermedades crónicas como la diabetes y problemas cardiovasculares, mejoran la circulación sanguínea y pueden tener propiedades anticancerígenas (Pinedo, 2021).

La quinua, cereal base de los incas durante miles de años, unido a la religión y cultura, es el único alimento vegetal que posee todos los aminoácidos esenciales, los cuales se encuentran en el núcleo del grano, oligoelementos y vitaminas y no contiene gluten. La FAO catalogó a la quinua como un alimento que a futuro será vital en la alimentación de la población, por sus excelentes características saludables y sus numerosos usos, asimismo es considerada una opción para solventar problemas serios en la alimentación de la población (Vidal et. al.,2021).

La elaboración de productos expandidos mediante el empleo de extrusores presenta grandes ventajas, puesto que no utiliza grasa durante la cocción, el producto snack mantiene las propiedades químicas de la materia prima, emplea menor cantidad de materia prima que otros procesos alternativos y sobre todo es un método rápido. resulta viable para ser transferido a zonas altoandinas para su aplicación en la preparación de mezclas alimenticias, un producto extruído es de buena calidad y de bajo costo (Sandoval, 2023).

Los atributos de crujencia y/o crocancia en alimentos extruidos son descripciones que estudian un complejo de sensaciones que incluyen: olor, sabor, y en particular la textura y el sonido, y están relacionadas con las propiedades de fractura de los productos alimenticios, aunque es más conveniente utilizar el término “parámetros texturales”, como un grupo de características físicas que depende de los elementos estructurales del material se relaciona con la deformación desintegración y flujo por la aplicación de una fuerza y se mide objetivamente como una función de masa, tiempo y distancia (Roudaut et. al. 2022).

El análisis de textura de alimentos extruidos se ha llevado a cabo por compresión, penetración, métodos acústicos y análisis de perfil de textura. Aunque esta revisión se enfoca a técnicas instrumentales, la evaluación de textura en alimentos extruidos es un problema complejo. Desde un punto de vista práctico, los métodos empíricos se sugieren como una alternativa a las técnicas fundamentales, especialmente para científicos y productores de alimentos interesados en predecir la percepción de la textura por parte del consumidor (Szczesniak, 2019).

La evaluación del contenido de humedad en alimentos extruidos es de gran importancia, ya que el deterioro de los alimentos puede estar provocado por factores como el oxígeno y el agua los cuales provocan la descomposición participando en reacciones de tipo enzimático, como la oxidación de grasas y compuestos dentro del sistema sensibles y en alteraciones de tipo enzimático, como la oxidación de grasas y compuestos sensibles y en alteraciones de vitaminas y aromas (Restrepo et. al 2022).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la humedad y textura en un snack elaborado con maíz morado (*Zea mays* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) empleando diferentes temperaturas de extrusión y formulaciones de mezclas alimenticias.

1.1. Problema de la investigación

En abril del 2025, Cajamarca fue declarada oficialmente la capital nacional del maíz morado mejorado, con la variedad INIA 601 mediante la Ley N° 32287, esta variedad especialmente es reconocida por su alto contenido de antioxidantes y sus múltiples propiedades funcionales. A su vez la quinua ha sido reconocida por siglos por su alta calidad proteica y por ser particularmente rica en aminoácidos esenciales beneficiosos para la salud.

Hoy en día el consumo de maíz morado y de quinua va en aumento debido a los múltiples beneficios ya mencionados, sin embargo la carencia de industrialización y el bajo precio con lleva a que los agricultores no obtengan un beneficio apropiado de ellos, con la elaboración de un snack extruído a base de maíz morado y quinua se incentivará al cultivo permanente de ellos, dándole así el valor agregado que merecen, promoviendo y fortaleciendo la cadena productiva y la agroexportación de los mismos, beneficiando tanto a la agricultura familiar como a los productores agrarios. Se pretende también que, una vez industrializado este producto, ayude a cubrir los requerimientos nutricionales de la población según lo establecidos por la FAO/OMS ya que podrían ser usados en los programas de alimentación complementaria (FAO, 2022).

Pérez et al. (2021) sostiene que la humedad es un factor muy importante a evaluar en la elaboración de snacks extruidos, Zúñiga (2022) señala que en la extrusión el factor con mayor incidencia es mantener una humedad ideal y en equilibrio. Para Pantoja et al. (2021) y Lu (2023) la evaluación de textura instrumental se considera como un factor crítico en la clasificación de calidad y comercialización de alimentos sólidos y alimentos extruidos. En la actualidad la textura de un alimento puede ser medida tanto por pruebas subjetivas intrínsecas (sensoriales) como por medios objetivos (instrumental) (Paula y Conti, 2021). Esta investigación busca evaluar la humedad y textura instrumental en un snack elaborado con maíz morado (*Zea mays L.*) y quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) empleando diferentes: temperaturas de extrusión y formulaciones de mezclas alimenticias.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la humedad y textura en un snack elaborado con maíz morado (*Zea mays L.*) y quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) empleando diferentes: temperaturas de extrusión y formulaciones de mezclas alimenticias?

1.3. Objetivo general

- Evaluar la humedad y textura instrumental en un snack elaborado con maíz morado (*Zea mays* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) empleando diferentes: temperaturas de extrusión y formulaciones de mezclas alimenticias.

1.3.1. Objetivos específicos

- Evaluar la humedad en un snack elaborado con maíz morado (*Zea mays* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) empleando diferentes: temperaturas de extrusión y formulaciones de mezclas alimenticias.
- Evaluar la textura instrumental (dureza y fracturabilidad) en un snack elaborado con maíz morado (*Zea mays* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) empleando diferentes: temperaturas de extrusión y formulaciones de mezclas alimenticias).

1.4. Justificación de la investigación

La investigación presenta una tecnología adecuada para la elaboración de snacks extruídos, a su vez productos como maíz morado el cual es rico en antocianinas con poder antioxidante que previenen enfermedades cardiovasculares anticancerígenas, antiinflamatorias y la quinua con alto valor proteico y aminoácidos esenciales, sabiendo que ambos productos poseen propiedades nutricionales que mejoran la calidad de vida, por ello que esta investigación tiene como finalidad la obtención de snacks de maíz morado y quinua, cuya importancia radica en obtener un producto innovador, nutritivo, de calidad, ofreciendo un producto más natural al mercado competitivo, y a su vez darle valor agregado a estos insumos peruanos (maíz morado y quinua) generando así más puestos de trabajos para el pequeño productor y/o agricultor. Por ello se determinó la mejor temperatura de extrusión, el tratamiento más adecuado para la formulación del snack, para finalmente obtener los snacks de maíz morado y quinua analizando el contenido de humedad y textura (dureza y fracturabilidad).

- *Justificación general*

Esta investigación pretende diversificar el consumo de snacks tradicionales por un snack novedoso, orientado a consumidores que llevan una vida muy agitada y por ende no se alimentan de una forma correcta, asimismo nos permitirá elaborar nuevos productos más naturales y prácticos al consumidor.

- *Justificación tecnológica*

Los resultados de la presente investigación aportarán conocimiento científico tecnológico ya que se establecerá el método y parámetros correspondientes a una adecuada formulación para snack extruidos como también un adecuado proceso de extrusión.

- *Justificación social*

Se beneficiará a los agricultores puesto que se generarán mayores ventas, también se beneficiará a los empresarios, además el consumidor podrá ahorrar tiempo ya que los snacks estarán listos para el consumo inmediato y lo más importante que estos contarán con un aporte nutricional.

- *Justificación económica*

La investigación permitirá mejorar las condiciones económicas de las personas que producen las materias primas principales de este producto, como también beneficiará directamente al consumidor porque será un producto accesible y fácil de consumir, y sobre todo este producto generará más ganancias a nuestra localidad y al país.

1.5. Hipótesis de la investigación

Las diferentes temperaturas de extrusión y formulaciones de mezclas alimenticias de maíz morado (*Zea mays* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) influyen en la humedad y textura de un snack.

CAPITULO II

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Naigua (2023) en su investigación: “*Elaboración de un snack de harina de maíz morado nixtamalizado con adición de harina de quinua*” utilizaron diferentes niveles de quinua (15%, 30% y 45%), con el fin de generar un producto de alto valor nutricional, en el cual se estableció formulaciones, procesos y parámetros para la realización de la nixtamalización y los snacks. Los resultados de los análisis fisicoquímicos reportaron que el T3 (45 % de harina de quinua) donde concluye dieciendo que porcentaje de humedad no reflejo diferencias significativas. “*Este antecedente nos sirvió como referencia para comparar las concentraciones de maíz morado y quinua*”

Lavado (2022). En su investigación: “*Desarrollo de un extruido saludable a partir de harinas de quinua y cañihua germinadas con adición de maíz*” Los extruidos se trabajaron en un extrusor doble tornillo a temperaturas de (30, 45, 55, 75, 95, 105 y 115°C), con flujo de alimentación (25 kg/h), velocidad del tornillo (30 Hz) y matriz (6 mm ϕ), los resultados obtenidos de los análisis en los extruidos demostraron que las formulaciones con mayor % de grits de maíz tuvieron valores más altos de trabajo de corte, sin embargo, la fuerza de corte no fue influenciada mostrando datos entre 10.16 y 49.96 N. En conclusión, la formulación óptima para maximizar el índice de expansión, fue de 24% grits de maíz, 17% de quinua y 59% de cañihua, con una deseabilidad del 64,40% e intención del 57%. “*Este antecedente fue utilizado como referencia para las temperaturas de extrusión*”

Valderrama (2019) en la tesis titulada: “*Efecto de la proporción de Maíz morado (*Zea Mays L.*), Quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*), kiwicha (*Amaranthus caudatus L.*)*” en las características fisicoquímicas, y aceptabilidad general de un extruido”. Las formulaciones se sometieron a un extrusor de alimentos de tornillo simple bajo parámetros establecidos; temperatura de 150 °C con una capacidad de 80 kg/h y diámetro de la boquilla de salida 6.38 mm. Los resultados en el análisis estadístico mostraron que el efecto de proporción de maíz morado, quinua y kiwicha donde finalmente se determinó una humedad de $3.6 \pm 0.17\%$. “*Este antecedente nos sirvió para comparar los resultados obtenidos sobre contenido de humedad en los snacks de maiz morado y quinua*”

Galindo (2018) en su investigación: “*Nivel de aceptabilidad sensorial de extruidos de quinua con maíz morado como una alternativa de alimentación saludable*” estableció cuatro formulaciones de extruidos de quinua con maíz morado en proporciones: quinua: maíz morado (100:00), quinua: maíz morado (90:10), quinua: maíz morado (70:30), quinua: maíz morado (50:50) donde el extruido: quinua: maíz morado (50:50), finalmente el tratamiento con mayor aceptabilidad sensorial fue también el tratamiento quinua: maíz morado (50:50) concluyendo que la incorporación del maíz morado mejora los atributos organolépticos. Los extruidos fueron calificados por presentar un color claro 87.2 %, un olor a tostado 49.31 %, sabor a insípido 35.10 %, de textura crocante 71.86 %. “*Este antecedente fue utilizado como referencia para la utilización de formulaciones de maíz morado/quinua*”

Aguirre y Calderón (2022) en su investigación titulada: “*Elaboración de una mezcla alimenticia extruida a base de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), arroz (*Oriza sativa*) y frijol gandul (*Canavalia gladiata*) saborizado con harina de lúcuma*” Encontrándose que la formulación con 60% de harina de quinua, 25% de harina de arroz y 15% de harina de frijol gandul, es muestra mejor calificada sensorialmente a través de los atributos de apariencia, color, olor, sabor y textura. “*Este antecedente se utilizó para comparar las formulaciones maíz morado/quinua*”

Contreras, Morales, Reyes, y Gaytán (2022) en su trabajo de investigación titulado: “*Efecto de la temperatura sobre las propiedades funcionales de la harina de maíz obtenidas por el método de extrusión comparada con la obtenida en el proceso de nixtamalización tradicional*”. Los tratamientos de extrusión consistieron en: temperatura de 70, 75 y 85 °C, humedad de 45, 55 y 65% p/p; y tamaño de partícula de 500, 800 y 1300 µm. De acuerdo a los resultados obtenidos ellos señalan que una temperatura menor a 80°C favorece a una textura adecuada. Por otro lado, afirman que la harina extruida con 75°C, 800 µm de partícula tiene un 45% de humedad presentando una textura semejante a la harina de maíz nixtamalizada tradicional. “*Este antecedente sirvió como referencia para utilizar las temperaturas de extrusión y comparar el contenido de humedad*”

De la cruz, Quenán, Castro y Naspirán (2024) en su tesis titulada: “*Desarrollo de un producto snack a base de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y maíz (*Zea mays* L.) por el método de extrusión evaluando la caracterización fisicoquímica del producto terminado*” donde concluyen que la mezcla óptima fue 60% de quinua y 40% de maíz, en el cual el análisis sensorial señaló que las personas encuestadas se inclinaron más por el valor nutricional del producto 90% de quinua y 10% de maíz, siendo este a su vez un producto que ofrece una alternativa nutritiva a los snacks tradicionales y muy agradable al gusto. “*Este antecedente fue utilizado como referencia para comparar el nivel de formulaciones de maíz morado/quinua*”

Repo, Pilco y Encina (2021) en su investigación: “*Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y maíz (*Zea mays* L.)*” donde el principal objetivo del presente trabajo de investigación fue desarrollar un producto de snack nutritivo utilizando la quinua y el maíz. Las tres variedades de quinua utilizadas presentaron un alto contenido de proteínas y fibra dietaria, así como compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. La mejor variedad para el proceso de extrusión fue la chullpi y la mezcla óptima fue 70% de quinua y 30% de maíz. Este producto ofrece una alternativa nutritiva a los snacks tradicionales. “*Este antecedente fue utilizado como referencia para la utilización de formulaciones de maíz morado/quinua*”

Olalla (2019) en su trabajo de titulación: “*Desarrollo tecnológico para la elaboración de snacks de maíz (*Zea mays* L.), quinua (*Chenopodium quinoa*) y haba (*Vicia faba*) nixtamalizados*”, donde el tratamiento obtenido por horneado y con una relación entre ingredientes 50:30:20 (maíz: haba: quinua) fue el mejor evaluado en apariencia, sabor, textura y aceptabilidad. Esta formulación se caracterizó mediante análisis proximal, teniendo 406 mg de Ca²⁺ por 100 g de producto; carbohidratos (69,62 %), almidón resistente (2,25 %), bajo en lípidos (3,29 %) y con un alto porcentaje de proteína (10,91 %). “*Este antecedente nos sirvió como referencia para comparar las concentraciones de maíz morado y quinua*”

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Maíz morado (*Zea mays L.*)

De acuerdo a su origen podemos decir que es una planta de origen americano, el cual fue cultivado por los antiguos pobladores en donde alcanzo una gran especialización evolutiva, especialmente en las regiones de Perú y México (Luna y Sánchez, 2021).

El maíz morado es originario de los andes peruanos siendo utilizado desde sus inicios para colorear comidas y bebidas. Es el ingrediente principal para la elaboración de la bebida “chicha morada”. Ha sido ampliamente cultivado y consumido en toda la región andina de América del sur, principalmente en Perú y Bolivia, ecuador y argentina (Parodi, 2021).

Entre sus características el maíz morado es una mazorca constituida en un 85% de granos y un 15% por la coronta (Gálvez et al., 2022), contiene el pigmento de nombre antocianina cianidina-3-glucosido contenido entre 1.5 – 6 % (López-Martínez et al., 2021), que se encuentra en mayor cantidad en la coronta (3280 a 3970 mg/100g en base seca) y en menor proporción en la cáscara del grano (310 a 850 mg/100g en base seca) (Piyapanrungrueang. et. al. 2022).

Figura 1

*Maíz morado (*Zea mays L.*)*



Nota. En la figura se observa la imagen del maíz morado.

2.2.1.1. Variedades de maíz morado

La variabilidad de maíces que existen están preservados en el Banco de Germoplasma del Programa Cooperativo de Investigación de Maíz existen 55 grupos raciales, dentro de ellos se cuenta con cinco razas primitivas en la sierra (confite morocho, confite puntiagudo, confite puneño y kcalli) y uno en Selva (enano); asimismo, se cuenta con las 20 razas derivadas de las primeras; 10 razas de segunda derivación; seis razas introducidas; 12 razas incipientes y dos razas no definidas (Manrique, 2019).

Hay diferentes variedades de maíz morado, todas ellas provienen de una línea ancestral denominada “Kcalli” que todavía se cultiva en el Perú. Las formas más típicas están casi extinguidas. La línea Kcalli es muy antigua, restos arqueológicos con mazorcas típicas de esta línea se han encontrado en Ica, Paracas, Nazca y otros lugares de la costa central cuya antigüedad se estima por lo menos en 2 500 años a.C. También se encuentran mazorcas moldeadas, con las características de la línea, en la cerámica Mochica (Sevilla y Valdez 2018).

Oscanoa y Sevilla (2021), señalan que la raza Kcalli se localiza en Ayacucho en las provincias de Huamanga, Huanta, La Mar y Víctor Fajardo en los distritos de Quinua, Iguain, San Miguel y Colea y en Huancavelica en los distritos de Ruando y Moya (altitudes entre los 2 812 hasta 3 144 msnm.

En el Perú existen muchas variedades de maíz morado. A continuación, se describen a las principales (Manrique, 2019).

- Cuzco Morado: relacionado a la raza Cuzco gigante. Es tardía, de granos grandes, dispuestos en mazorcas con hileras muy bien definidas. Se le cultiva en diferentes lugares en zonas intermedias de altitud en los departamentos de Cuzco y Apurímac.
- Morado Canteño: muy similar a la raza Cuzco morado, de menores dimensiones. Se cultiva especialmente en las partes más altas del valle del Chillón, en el departamento de Lima, hasta los 2 500 msnm. Es la variedad más consumida en los mercados de Lima.
- Morado de Caráz: derivada de las razas Ancashino y Alazán. Recibe este nombre porque se le cultiva en la localidad de Caraz, en el Callejón de Huaylas, en extensiones relativamente grandes. Es de precocidad intermedia y tiene la ventaja que puede adaptarse también a la costa. Entre las variedades tradicionales es la

que muestra mayor capacidad de rendimiento y la que presenta la coronta más pigmentada.

- Arequipeño: en las alturas de los departamentos de Arequipa se encuentra una variedad de granos morados dispuestos en hileras regulares en la mazorca. La forma de la mazorca es similar a la variedad Cuzco morado, pero más chica. El color de la coronta no es tan intenso como en otras variedades, pero en la colección hecha en Arequipa se encuentra mucha variabilidad para estas características por lo que puede ser mejorada. Es más precoz que las variedades previamente citadas.
- Negro de Junín: se denomina así a una variedad precoz de granos negros, grandes, dispuestos irregularmente en una mazorca corta y redondeada. Es similar en forma a la raza San Jerónimo.
- Huancavelicano: se le encuentra en la sierra centro y sur hasta Arequipa, ocupando alturas mayores que otras variedades.

2.2.1.2. Variedades mejoradas de maíz morado

- PMV - 581: variedad mejorada por la Universidad Nacional Agraria La Molina, obtenida a través de la variedad Morado de Caráz, adaptada a la costa y sierra, con resistencia a roya y cercospora. Su periodo vegetativo es intermedio, con mazorcas medianas de 15 a 20 cm, alargadas con alto contenido de pigmento y un potencial de rendimiento de 6 t/ha (Manrique, 2019).
- PMV - 582: variedad mejorada por la Universidad Nacional Agraria La Molina, adaptada a la sierra alta. Las plantas son de tamaño intermedio, mazorcas medianas, con alto contenido de antocianinas y un potencial de rendimiento de 4 t/ha (Manrique, 2019).
- INIA – 615: (Negro Canaán): variedad mejorada por el INIA, producto del trabajo de mejoramiento por selección recurrente de medios hermanos a partir de 36 colecciones de cultivares de la raza kcolli realizados durante nueve ciclos. Los progenitores femeninos fueron las variedades locales Negro kcolli, Morado y los progenitores masculinos un compuesto balanceado de tres variedades (Negro, kcolli y Morado) (INIA 2017).

- INIA - 601 (Negro Cajamarca): la variedad de maíz morado INIA 601 fue desarrollada en la Estación Experimental Baños del Inca en 1990, fue formada por 256 progenies, 108 provienen de la variedad de maíz morado de Caraz (Huaraz) y 148 progenies de la variedad local Negro Parubamba (Cajabamba-Cajamarca). En el mejoramiento se utilizó selección recurrente de medios hermanos, dando énfasis al rendimiento de grano, color morado del grano y coronta, precocidad y prolificidad. (IEPARC 2016).

2.2.1.3. Composición química del maíz morado

Los componentes químicos en el maíz morado son: Ácido salicílico, grasas, resinas, saponinas, sales de potasio y sodio, azufre y fósforo, y sus compuestos fenólicos (Arroyo et al. 2021).

Tabla 1

Composición química del maíz morado

Componente	Cantidad
Almidón	80 %
Humedad	11.02 %
Proteína	3.74 %
Grasa	0.32 %
Fibra	24.01 %
Carbohidratos	57.44 %

Nota. En la tabla se describe la composición química del maíz morado, datos obtenidos de (Delgado, 2022).

2.2.1.4. Propiedades y beneficios del maíz morado

El consumo de maíz morado está asociado indirectamente con beneficios a la salud, debido a la presencia de compuestos antioxidantes, los cuales retrasan el daño causado por los radicales libres, con actividad anticancerígena, anti neurodegenerativa y antiinflamatoria (Kraft, 2018).

Estudios médicos han demostrado que pacientes con arteroesclerosis presentan contenidos bajos de antioxidantes al compararlos con individuos sanos (Durak et al. 2021), (Ching et al. 2022) encontraron que, al incrementar los niveles de antioxidantes en sangre, los riesgos de presentar cáncer de mama se ven disminuidos (Olsson et al. 2022)

evaluaron el efecto de antocianinas, como la cianidina-3- β - glucósido, la proliferación de células de cáncer de colon y de mama, encontrando actividad anticancerígena (Joseph et al. 2023) encontraron que el consumo de suplementos antioxidantes revierte los efectos degenerativos del envejecimiento.

Una gran variedad de fitoquímicos es responsable de estos beneficios del maíz morado, entre ellos los compuestos fenólicos. Un equipo de investigación de la universidad japonesa Doshisha, Kyoto, comprobó que el extracto de maíz morado incrementa la actividad de un gen que regula la función de las células grasas el cual previene las enfermedades cardíacas, obesidad y diabetes. Asimismo, según la revista Nutraceuticals World, es un protector de la retina y estimulador de la circulación sanguínea (Risco, 2022).

2.2.1.5. *Usos del maíz morado*

Se sabe que el maíz morado era empleado en la alimentación como bebida, con él se elaboraba la “chicha” que viene a ser una bebida fermentada. El uso de su extracto sufrió un cambio con el tiempo así es como en la colonia, por influencia de la repostería española y por el ingenio de las amas de casa criollas, es por ello, que apareció la “mazamorra” y la “chicha morada” que tenían los sabores más exquisitos. El aceite de maíz morado es utilizado para hidratar las manos, la harina de maíz morado usada externamente en forma de cataplasma en caso de eccemas, llagas o fuertes golpes (Fernández, 2021).

Actualmente el maíz morado es usado a nivel casero, como colorante natural y saborizante en bebidas y otros preparados alimenticios como la “mazamorra morada”. Las antocianinas extraídas de maíz morado se utilizan en la elaboración de yogurt (Salinas et al. 2021). La antocianina proveniente del maíz morado es un tipo de flavonoide complejo. Es un pigmento procesado y purificado que se obtiene de los granos, del polvillo y principalmente de la coronta (Araujo 2020).

2.2.2. *Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)*

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es un grano alimenticio milenario ancestral originario de los andes peruanos y de la región andina de América del Sur, territorio importante como centro de domesticación de plantas alimenticias, debido a la existencia de microclimas y diferencias altitudinales que dan origen a una diversidad de zonas agroecológicas (Muñoz, 2023).

Las semillas son las que contienen la parte del mayor valor alimenticio; son pequeños gránulos con diámetros de entre 1,8 y 2,2 mm, de color variado: blanco, café, amarillo, rosado, gris, rojo y negro (Romo et al. 2021). La quinua debido a su alto valor nutricional, adaptabilidad a diferentes condiciones agroecológicas (plasticidad genética), tolerancia a suelos salinos, resistencia a temperaturas extremas y a la poca disponibilidad de agua, la quinua es un cultivo importante en la lucha contra el hambre a nivel mundial (Laguna et al. 2022).

Figura 2

Quinua (Chenopodium quinoa Willd.)



Nota. En la figura se observa la imagen de la planta de quinua.

2.2.2.1. Composición nutricional de la quinua

Meyhuay (2023) sostiene que, la quinua es uno de los pocos alimentos de origen vegetal que es nutricionalmente completo, es decir que presenta un adecuado balance de proteínas, carbohidratos y minerales, necesarios para la vida humana. En la Tabla 2 se muestra la composición proximal del grano de quinua dentro de un amplio rango de variabilidad:

Tabla 2*Composición nutricional de la quinua*

Composición nutricional	Valores mínimos (g/100g)	Valores máximos (g/100g)
Almidón	50%	60%
Proteínas	11.0 %	21.3 %
Grasas	5.0 %	8.4 %
Carbohidratos	55.3 %	74.3 %
Fibra	2.1 %	4.9 %
Ceniza	3.0 %	3.6 %
Humedad (%)	9.4 %	13.4 %

Nota. En la tabla se describe la composición nutricional de la quinua, obtenido de Meyhuay (2023).

El rango de contenido proteico va de 11 a 21.3 %, los carbohidratos varían de 53.5 a 74.3 %, la grasa varía del 5.3 a 8.4 %. Se encuentran apreciables cantidades de minerales, en especial potasio, fósforo y magnesio. Los granos contienen entre 58 y 68 % de almidón y 5 % de azúcares. Los gránulos de almidón son pequeños, contienen cerca del 20 % de amilosa, y gelatinizan entre 55 °C y 65 °C. El valor biológico de los granos se debe a la calidad de la proteína, es decir a su contenido de aminoácidos.

Tabla 3*Contenido de minerales en quinua*

Minerales	Materia seca (mg/g)
Fósforo	387.0
Potasio	697.0
Calcio	127.0
Magnesio	270.0
Sodio	11.5
Hierro	12.0
Cobre	3.7
Manganoso	7.5
Zinc	7.8

Nota. En la tabla se muestra los valores del contenido de minerales presentes en la quinua, obtenido de Mujica (2022).

La fibra soluble es importante por los beneficios que aporta el proceso de digestión, por su capacidad de absorber agua, captar iones, absorber compuestos orgánicos y formar geles, en la tabla se observa el contenido de fibra insoluble, soluble y la fibra dietética total.

Tabla 4

Contenido de fibra insoluble, soluble y fibra dietética total de quinua por cada 100 g

Muestra	Fibra insoluble	Fibra soluble	FDT
Quinua	5.31	2.49	7.80

Nota. En la tabla se describe el contenido de fibra insoluble, soluble y fibra dietética total en granos de quinua por cada 100 g, datos obtenidos de Zapata (2021).

2.2.2.2. *Productos extruidos de quinua*

Tal como si de palomitas de maíz se tratara, la quinua se infla y resultan pequeñas bolitas crujientes también llamadas quinoa pops o técnicamente nombradas como extruido de quinua que puede reemplazar perfectamente a los cereales de desayuno colmados de azúcar. Además, estos integran aire a su estructura y por esta razón, una taza llena de quinua extruida resulta muy ligera y nutritiva a la vez (Gottau, 2022).

Figura 3

Producto extruido a base de maíz morado y quinua en forma de esferas



Nota. En la figura se observa un producto extruído, obtenido de Life foods factory (2023).

2.2.3. Extrusión

La extrusión es un proceso que combina una serie operaciones unitarias sucesivas como: mezclado, amasado, ruptura por cizalla, transporte, calentamiento, enfriamiento, moldeado, secado parcial e inflado dependiendo del alimento y del equipo empleado. Además, el producto mejora la calidad preparada en tiempos cortos de cocción, así mismo tiene una menor destrucción de los nutrientes sensibles al calor. La cocción por extrusión ha sido definida, como un proceso de humidificación, expansión de almidones y/o proteínas, con la combinación de humedad, presión, calor y fricción mecánica, que provoca la elevación de la temperatura de la masa, dando como resultado la gelatinización de los almidones y la expansión exotérmica (García, 2021)

Durante la extrusión en caliente las mezclas con alto contenido de almidón a elevadas temperaturas y a intensas fuerzas de cizalla, provoca el hinchamiento y absorción de agua de los gránulos de almidón en un 16%, proceso que se denomina gelatinización. Por lo tanto, su estructura macromolecular se expande dando lugar a una masa viscosa, plástica y más soluble (Fernández, 2021).

Es importante que las materias primas tengan un adecuado grado de hidrólisis para maximizar la expansión del producto final. Una buena cocción durante la extrusión está definida por la combinación de temperatura, tiempo de residencia y contenido de humedad, entre otros. En términos físicos, la extrusión es un tratamiento termo-mecánico, en el cual los biopolímeros como la proteína y almidón se hacen plásticos, en primer lugar, por la adición de agua para obtener un grado de corte mecánico aceptable. De esta manera, el alimento puede alcanzar características de calidad totalmente diferentes a las de las materias primas originales (Pérez, 2022).

Harper (2021) define la extrusión como el moldeo de un material por forzamiento, a través de muchas aberturas de diseño especial, después de haberlo sometido a un previo calentamiento; asimismo menciona que la cocción – extrusión combina el calentamiento con el cocimiento y formación de alimentos húmedos, almidonados y proteicos. Durante el proceso de extrusión, el alimento es trabajado y calentado por una combinación de fuentes de calor, incluyendo la energía disipada por fricción al girar el tornillo, o inyección de vapor directo a lo largo de la cámara.

La temperatura del producto supera la temperatura de ebullición normal, pero no ocurre evaporación debido a la elevada presión que existe. Durante el paso de los ingredientes alimenticios a lo largo del extrusor, son transformados de un estado granular a una masa continua. Esta transformación, descrito como cocción, involucra la ruptura de

los gránulos de almidón, la desnaturalización de las moléculas de proteína, y otras reacciones que pueden modificar las propiedades nutricionales, de textura y organolépticas del producto final. En la descarga del extrusor, la pasta cocida a alta temperatura y presurizada es forzada a través de una pequeña abertura llamada boquilla, que permite dar forma al producto. La caída de presión a la salida, ocasiona la expansión y la evaporación de la humedad en el producto (Cisneros, 2022).

La extrusión combina diversas operaciones unitarias como el mezclado, la cocción, el amasado y el moldeo. El objetivo principal de la extrusión consiste en ampliar la variedad de los alimentos que componen la dieta elaborando a partir de ingredientes básicos, alimentos de distinta forma, textura y color; como harinas instantáneas. Se caracteriza por ser una técnica eficiente y con múltiples ventajas en la cocción de cereales, por ejemplo: inactivación térmica de inhibidores y factores que alteran la digestibilidad o el gusto; interacción entre proteínas y demás ingredientes, producción de un alimento sanitariamente adecuado, alta estabilidad del almacenaje, posibilidad de dar formas y textura diferentes, agregar diversos sabores, colores (Fellows, 2022).

El objetivo general de la extrusión de alimentos puede ser variado: lograr la cocción, pasteurización, expansión, reducción de humedad, homogeneización y/o reestructuración (Apró et al., 2020; González et al., 2022).

La cocción por extrusión es una forma especializada, y única en el procesado de materiales amiláceos debido a que se trata de una cocción a relativamente bajos niveles de humedad, comparado con el horneado convencional o la cocción de masas y pastas. Los niveles normales de humedad utilizados están en el intervalo de 10-40 por ciento y a pesar de estos bajos valores de humedad el material se transforma en un fluido dentro del extrusor. Bajo estas condiciones las características físicas de las materias primas, tales como el tamaño de partícula, la dureza y el grado de plastificación alcanzado durante el proceso de extrusión llegan a ser determinantes para la transformación final del material (Harper, 2021).

Otra característica de la cocción por extrusión es que debido a los esfuerzos de corte que se desarrollan durante el transporte del material en el extrusor, la temperatura se eleva rápidamente (conversión de energía mecánica en calor por flujo viscoso) y así la estructura del material sufre transformaciones profundas en pocos segundos. La masa de partículas (harina de cereales y/o legumbres) más o menos hidratada, es convertida en un fluido de muy alta viscosidad. A medida que ese fluido es trasportado, los elevados esfuerzos de corte en combinación con la alta temperatura, transforman a los elementos

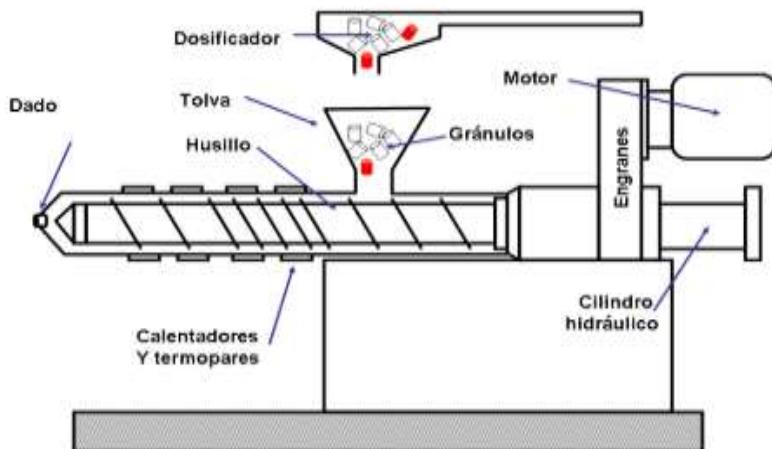
estructurales del material, es decir a los gránulos de almidón y a las estructuras proteicas (Harper, 2021).

Valls (2023) indica que algunas ventajas del proceso de extrusión para producir alimentos por esta vía, son:

- La mejora o modificación de las propiedades funcionales
- La formación de complejos lipídicos carbohidratos, que mejoran la textura y las características sensoriales del producto obtenido;
- Se desnaturalizan e inactivan factores anti nutricionales, que permiten el mejoramiento en el valor nutritivo.

Figura 4

Diseño genérico de un extrusor de tornillo simple



Nota. En la figura se observa el diseño genérico de un extrusor de tornillo simple, obtenida de Fernández (2021).

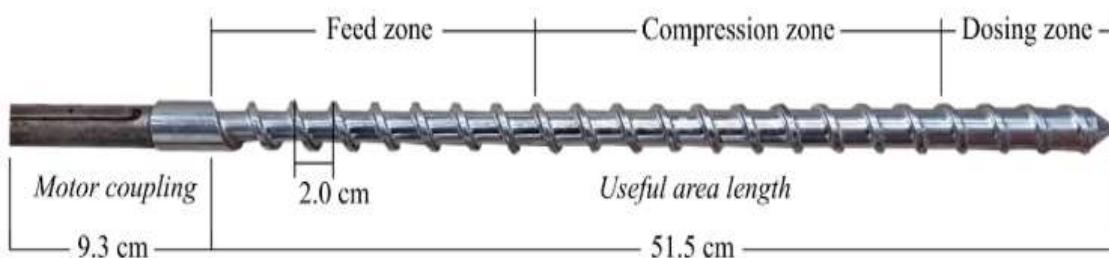
2.2.3.1. Tornillos extrusores de uno o dos tornillos

La función del tornillo o tornillos de los extrusores consiste en el primer paso de transportar, fundir y homogeneizar la materia prima mediante un movimiento rotatorio. Debido a las propiedades intrínsecas de cada materia prima y/o formulaciones, tales como: dureza superficial de los gránulos, temperatura de fusión, coeficiente de corte, viscosidad del material fundido, entre otras, es necesario desarrollar diferentes construcciones de hilos para lograr mejores resultados y condiciones de cocción. En la práctica, sin embargo, por cuestiones de costos, tanto para extrusoras de uno como de dos tornillos, lo que se nota son tornillos estándar que buscan atender grupos de materiales con comportamiento reológico similar.

Geométricamente, estos tornillos, conforman tres zonas diferenciadas (Fig. 5): Zona de alimentación, cuya función es transportar la materia prima a la zona de compresión. En esta zona, por lo general, el paso es mayor, o el núcleo de la rosca tiene el menor diámetro, manteniéndose constante. Esta parte de la rosca debe asegurar una presión de suministro y precalentar el material. (b) Zona de compresión, es la zona donde comienza la precocción, debido a la disminución de la distancia entre los pasos o al aumento constante del núcleo de hilo, que comprimirá y cortará el material (Ramírez, 2023).

Figura 5

Tornillo extrusor Brabender® de una pieza, relación de compresión 3:1



Nota. En la figura se observa un tornillo extrusor, imagen obtenida de Ramírez (2023).

La disminución del volumen disponible entre las roscas del tornillo, además de proporcionar compresión y ayudar a la precocción, tiende a homogeneizar la masa que inicia la transformación del material, eliminando el aire transformando inicialmente la materia féculta y/o proteica en la etapa de precocción -Fusión. (c) Zona de dosificación, en esta zona los tornillos tienen roscas de menor profundidad, esto debido a que el diámetro del núcleo de la rosca ha ido creciendo, alcanzando aquí su mayor dimensión y manteniéndose constante. Es en la zona de dosificación donde se completa la cocción y se realiza la máxima homogeneización, definiendo también el bombeo de la masa fundida a la salida en la matriz (Ramírez, 2023).

2.2.3.2. Factores que influyen en la extrusión

Los parámetros de extrusión que influyen sobre los productos extrudidos son: las condiciones de operación del extrusor (temperatura, presión, diámetro de los orificios de la boquilla y la velocidad de tornillo) y las propiedades físicas químicas (humedad, proteína, grasa y almidón), de las materias primas e insumos. El funcionamiento del extrusor debe ser en condiciones adecuadas, esto permite la obtención de un producto

uniforme con las características deseadas. Ya que pequeñas variaciones de las variables pueden generar grandes cambios en el producto terminado (Noriega, 2021).

2.2.3.3. Condiciones de operación que influyen en la extrusión

- Temperatura:

La temperatura de extrusión en caliente varía de 99°C a 200°C, según el tipo de extrusor. Por lo tanto, los extrusores de menor capacidad de alimentación, tiene una relación directa con la temperatura del producto. Por otra parte, los extrusores de grandes capacidades pueden ser inversos, pues al calentar la pared, disminuye la viscosidad de la masa, el esfuerzo cortante y la capacidad de bombeo del tornillo, en tanto que la conducción de calor al interior de la masa es muy pequeña por la presencia de flujos laminares (Huber, 2021).

- Velocidad de dosificador:

Es un factor principal en el proceso de extrusión, ya que afecta el tiempo de residencia del producto, la cantidad de calor generado por fricción, las velocidades de transmisión de calor y las fuerzas de cizalladura en el producto. El incremento en la velocidad de dosificador causa también un incremento en la relación de expansión para extruidos. Con un caudal del agua donde se inyecta de 1 - 4 Gal/h) y esto depende de la formulación utilizada (Martinez, 2022).

- Presión:

En el proceso de extrusión las presiones altas generan perdida de agua por vaporización, obteniendo un producto con baja actividad de agua, por lo tanto, más duradero. Por el contrario, si se trabaja con baja presión, el producto que sale del troquel será de alto contenido en humedad y alta densidad, sin embargo, precisará otros tratamientos como el secado. (Huber, 2021).

- Diámetro de orificio:

La extrusión a menor diámetro de orificio de los dados, incrementa el grado de expansión del producto; la humedad de la mezcla es importante para la crujencia o textura, el incremento del contenido de proteína en la mezcla reduce las posibilidades de una extrusión con expansión. (Cadena, 2021).

2.2.3.4. Calidad nutricional de los extruidos

Las pérdidas de las propiedades nutricionales en los alimentos extruidos dependen del tipo de materia prima, contenido en agua, tiempo y la temperatura en el proceso, sin embargo, las condiciones de la extrusión con cocción y el enfriamiento rápido del producto a la salida de la boquilla, hacen que la diminución de vitaminas y aminoácidos esenciales sean relativamente pequeñas (Fernández, 2021).

2.2.3.5. Ventajas del proceso de extrusión

- Versatilidad:

Dentro de los factores que contribuyen a la versatilidad del proceso de extrusión se puede mencionar los diseños específicos del extrusor, las variables de operación, la variedad de materias primas que pueden procesar y las diferentes características que pueden obtenerse en los productos terminados (formas, colores, sabores, texturas). (Guy, 2021)

- Velocidad de producción:

La naturaleza de los diferentes tipos de extrusores que actualmente son usados a nivel mundial implica que la extrusión sea un proceso continuo, que a su vez fomenta altas producciones en comparación con algunos otros procesos. La capacidad de los equipos de extrusión varía desde equipos a escala de laboratorio (1 a 5 kg/h) hasta extrusores que pueden producir 5 a 10 ton/h de materiales poco densos (0.5 a 0.7 g/cm³) y dado que son equipos continuos, se tiene un buen control del proceso y se obtienen productos uniformes (Huber, 2021).

- Calidad del producto terminado:

El tiempo promedio que pasa una partícula de alimento en un extrusor puede ser de unos cuantos segundos, lo que disminuye las probabilidades de destrucción de vitaminas y reacciones poco deseable entre proteínas y carbohidratos reductores. Por su característica de calentamiento a altas temperaturas y corto tiempo, los extrusores pueden producir alimentos estériles y, debidos a la completa gelatinización de los almidones, muy digeribles. (Kent, 2023).

2.2.3.6. Cambios de los componentes en la extrusión

- Almidón

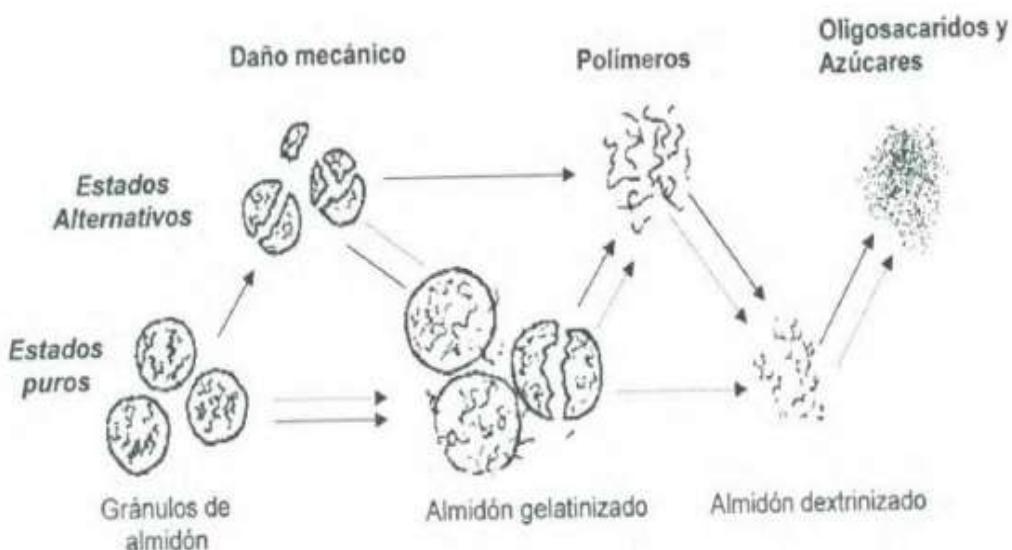
Extrusión, dependiendo de las condiciones del proceso y la composición de la materia prima, causan la hinchazón y la rotura del gránulo de almidón; destruyendo total o parcialmente la estructura de los gránulos organizados. Durante la extrusión una porción de amilosa y amilopectina se hidrolizan parcialmente a maltodextrinas debido a las altas temperaturas y cizallamiento dentro del extrusor.

Una consecuencia importante de la degradación del almidón es la reducción de la expansión. Por otro lado, en ciertos cereales como el trigo duro, el maíz vítreo y algunas variedades de cebada existe una fuerte unión entre los gránulos de almidón y las láminas de proteínas, conformando una estructura de mayor dureza que requiere más energía para descomponerse, lo que se reflejara en el aumento de temperatura al interior del extrusor. Una vez dentro de la extrusora, y a temperaturas relativamente altas, los gránulos de almidón se funden y se vuelven blandos, además de cambiar su estructura se comprime a una forma aplanaada.

La aplicación de calor, la acción de cizallamiento sobre el gránulo de almidón y el contenido de agua destruyen la estructura molecular organizada del granulo. Los polímeros de almidón se dispersan y degradan para formar una masa fundida continua. El polímero retiene las burbujas de vapor de agua y se estira durante la expansión del extruido hasta la ruptura de la estructura celular (Steel, Vernaza, Schmiele, Ferreira, y Chang, 2022).

Figura 6

Modelo propuesto - degradación del almidón durante el proceso de extrusión



Nota. En la figura se observa el modelo propuesto para la degradación del almidón durante el proceso de extrusión, imagen obtenida de Gomez y Aguilera (2023).

- *Proteínas*

Las proteínas son polímeros con un gran número de grupos químicos en comparación con los polisacáridos y, por lo tanto, son más reactivos; lo que da lugar a varios cambios durante el proceso de extrusión, siendo el más importante la desnaturalización proteica. Las proteínas se forman a partir de cadenas de aminoácidos y tienen una amplia gama de tamaño molecular y formas dependiendo la materia prima. Las proteínas en general se clasifican, con respecto a su solubilidad en agua, solución salina, solución de alcohol y soluciones ácidas o alcalinas. Durante la extrusión, los enlaces disulfuro se rompen y eventualmente pueden volver a formarse. Las interacciones electrostáticas e hidrófobas favorecen la formación de agregados insolubles. La creación de nuevos enlaces peptídicos durante la extrusión se encuentran en controversia. Las proteínas de alto peso molecular pueden dissociarse en subunidades más pequeñas. Las enzimas pierden su actividad después de ser sometidas al proceso de extrusión debido a altas las temperaturas y cizallamiento.

La desnaturalización de las proteínas durante el proceso de extrusión favorece la digestibilidad e inactivación de anti nutrientes (factor anti-tripsina). Además, la extrusión reduce el sabor amargo característico de algunas materias primas mediante la volatilización de compuestos indeseables relacionados a la proteína. Adicionalmente,

durante el proceso de extrusión al utilizarse altas temperaturas se favorece la reacción de Maillard, donde los azúcares reductores producidos durante el proceso de extrusión pueden reaccionar con los grupos de amino libres de la lisina u otros aminoácidos

En conclusión, durante la extrusión las estructuras proteicas se alterarán debido al alto esfuerzo de corte, presión, y temperatura. La proteína pasara por procesos de reorganización y polimerización donde los enlaces disulfuro, enlaces hidrofóbicos y las interacciones electrostáticas serán los principales enlaces e interacciones en las proteínas extruidas (Steel, Vernaza, Schmiele, Ferreira, y Chang, 2022).

- *Lípidos*

Tienen una poderosa influencia en la extrusión. Los procesos de cocción actúan como lubricantes, ya que reducen la fricción entre partículas de la mezcla y entre la superficie del tornillo y del barril. En el Extrusor, las grasas y los aceites se vuelven líquidos a temperaturas mayores de 40°C y al mezclarse con los otros materiales, se dispersan rápidamente como finas gotas. La presencia de lípidos en cantidades inferiores al 3% no afecta las propiedades de expansión, sin embargo, en cantidades superiores al 5%, la reducción en la tasa de expansión es considerable.

Collona (2018) sugieren que el aumento en el contenido de lípidos se puede corregir a través de la reducción en el contenido de humedad en la operación de acondicionado, para no afectar el índice de expansión. El tipo de almidón y lípido presente en la materia prima influye en la formación del complejo de amilosa-lípido, con ácidos grados libres y mono glicéridos que son más favorables a la formación de este complejo que los triglicéridos (Steel, Vernaza, Schmiele, Ferreira, y Chang, 2022).

- Fibra

El término “fibra” cubre una gran variedad de sustancias con diferentes propiedades físicas, químicas y fisiológicas. La fibra dietética consiste en fracciones de moléculas vegetales, polisacáridos, lignina y sustancias asociadas que son resistentes a la hidrólisis por enzimas presentes en el sistema digestivo de los humanos; sin embargo, algunos tipos de fibras pueden ser fermentadas por bacterias en el colon. Como muchos efectos fisiológicos de las fibras parecen estar relacionados con su solubilidad en agua, se clasifican frecuentemente como "solubles" e "insolubles" (Stark y Madar, 2024).

Las fibras solubles forman una red de gel o una red viscosa, bajo ciertas condiciones fisicoquímicas, y por lo tanto ligan agua aumentando la viscosidad,

retardando el tránsito gástrico, reduciendo tasas de absorción de glucosa, lípidos y esteroles. Las investigaciones han demostrado que la cocción de las fibras por extrusión puede producir cambios en su estructura características y propiedades fisicoquímicas, siendo el principal efecto la redistribución de fibra insoluble a fibra soluble (Larrea, Chang, y Bustos, 2021).

Este efecto sería el resultado de la ruptura de enlaces covalentes y no covalentes entre carbohidratos y proteínas asociadas a la fibra, lo que resulta en fragmentos moleculares más pequeños mejorando su solubilidad. Varios investigadores han informado de una reducción en el índice de expansión (IE) cuando la fibra dietética es añadida a la formulación (Vernaza, Chang, y Steel, 2019).

- *Humedad*

En el proceso de extrusión de productos de baja humedad, la expansión final del producto está inversamente relacionada con la humedad de la materia prima y está directamente relacionado con el aumento de la temperatura de extrusión. Sin embargo, el efecto de la humedad es más significativo (Harper, 2024). El agua actúa como un plastificante para el material almidonado que se desplaza dentro del extrusor, reduciendo la viscosidad y la energía mecánica, produciendo productos de mayor densidad e inhibiendo el crecimiento de las burbujas. Los estudios realizados con granos de maíz demostraron que la expansión es inversamente proporcional al contenido de humedad del material que se está extruyendo (Colonna, Tayeb, y Mercier, 2018).

A mayor humedad, la gelatinización del almidón se ve reducida y la aparición de burbujas se retarda, lo que resulta en productos finales más densos y menos crujientes (Ding, Ainsworth, Plunkett, Tucker, y Marson, 2022).

En extruidos de alta humedad el producto al salir del dado se expande mínimamente con una estructura que después del enfriado resulta en un producto de alta densidad y dureza (Harper, 2024). Lo explicado por Harper (2024) se complementa con lo descrito por Guy (2021) quien menciona que la extrusión de baja humedad (15 a 30%) tiende a resultar en procesos con mayor generación de energía mecánica y productos con menor densidad; mientras que en productos de alta humedad (50 a 70%) la extrusión resulta en extruidos de mayor densidad, y se usa normalmente en la producción de pellets (Guy, 2021).

2.2.3.7. Compuestos coloreados en extruídos

El color en los productos extruidos está influenciado por la temperatura, la composición de la materia prima, tiempo de residencia, presión y fuerza de corte (Guy, 2021). Durante el proceso de extrusión, suceden varias reacciones que en su conjunto pueden afectar el color de los productos. Entre las reacciones más importantes, las más comunes son el pardeamiento no enzimático (Maillard y caramelización) y la degradación de pigmentos. Las condiciones del proceso normalmente utilizados en la extrusión de alta temperatura y bajo contenido de humedad son conocidos por favorecer la reacción entre azúcares y aminoácidos reductores, que resulta en la formación de compuestos de color y la reducción del aminoácido lisina. Si el bronceado es demasiado intenso, se pueden producir colores y sabores no deseados. Además, los cambios de color durante el proceso de extrusión puede ser un indicador para evaluar la intensidad del proceso en términos de cambios químicos, nutricionales y sensoriales (Steel, Vernaza, Schmiele, Ferreira, y Chang, 2022).

En un estudio realizado por Mora, et. al. (2021) comparo la harina nixtamalizada de maíz azul producida por el método tradicional y por extrusión. Las harinas de maíz azul producidas por el método tradicional perdieron alrededor de 55% de antocianinas cuando fueron procesadas. Los resultados indicaron que el proceso de extrusión retiene mayores niveles de compuestos como el ácido ferúlico y antocianinas en harina de maíz azul nixtamalizada por extrusión (Mora, et. al. 2021).

Las antocianinas son compuestos estables en pH ácido y cuando el hidróxido de calcio es añadido las antocianinas se degradan (Salinas, Martinez, Soto, Ortega, y Arellano, 2023). Adicionalmente de acuerdo a Brennan, Brennan, Derbyshire y Tiwari (2021) altas velocidades de tornillo y temperatura en la extrusión es un factor que afecta el contenido de polifenoles y antocianinas por descarboxilación (Brennan, Brennan, Derbyshire, y Tiwari, 2021).

En un estudio realizado por Escalante et. al. (2022) determinaron que los extrudidos retienen entre el 17.8 y 38.5% de las antocianinas totales en el maíz azul. Las antocianinas totales fueron afectadas por la humedad de alimentación; a menor humedad de alimentación mayor degradación. Adicionalmente de acuerdo a lo esperado los tratamientos procesados con una temperatura de 130°C retuvieron mayor cantidad de antocianinas que los tratamientos procesadas con una temperatura de 140°C (Escalante, et. al. 2022).

2.2.3.8. Propiedades organolépticas que influyen en la extrusión

Gran parte de los compuestos volátiles se pierden en la atmósfera. Sin embargo, a la salida del troquel, la masa a elevada presión se expande lo que supone una salida de gases y vapor de agua que puede arrastrar compuestos aromáticos que se hayan concentrado en las vacuolas de gas por efecto de la presión y temperatura. Las pérdidas son importantes, por lo que se añaden colorantes y saborizantes después de la extrusión. Es posible controlar el desarrollo del aroma y color de los productos extruidos mediante un control estricto de las condiciones de proceso (Narváez, 2021).

El cambio en las propiedades organolépticas del alimento viene dado por el tipo de extrusión que se lleva a cabo. Aplicando altas temperaturas el producto perderá más cantidad de agua, con lo que se obtendrán productos con menor humedad y, por lo tanto, con más vida útil. Por el contrario, trabajando en frío se obtendrán productos con más actividad de agua, pero con una menor pérdida de cualidades (Túpac, 2022)

2.2.4. Snacks

En la actualidad los cambios de estilo de vida y el entorno social, ha incrementado en la dieta habitual de los adolescentes el consumo de snacks, ya que dan variedad a la dieta, pero frecuentemente reciben críticas por sus altos niveles de sal, azúcar y grasa. Sin embargo, el consumo parece ser perjudicial nutricionalmente, cuando son consumidos como reemplazo de los alimentos tradicionales. Los snacks pueden ser nutritivos cuando su elaboración es a base de frutas, tubérculos, leguminosas, cereales y otros. Por lo tanto, si los snacks son parte de una dieta variada, pueden ser una importante fuente de proteína y energía, particularmente para los sectores de bajos niveles de ingresos de la sociedad, cuya dieta es deficiente en estos nutrientes (Mataix, 2022).

2.2.4.1. Tipos de snacks

Los snacks se clasifican de acuerdo al tipo de técnicas que han sido usadas para su alcance; así, por ejemplo: tenemos los snacks obtenidos mediante un proceso de fritura (chips de frutas y tubérculos); otros que han pasado por proceso de extrusión y/o expansión (hojuelas de maíz, cebada, chitos, etc.). Tenemos también las confituras obtenidas mediante deshidratación osmótica, frutas deshidratadas obtenidas a través de un proceso de secado, las mismas que son consumidas directamente o se usan en la elaboración de barras energéticas con una extensa variedad de sabores y texturas (Costa y Oliveira, 2019).

Según Guy y Ribas (2022) los snacks se clasifican de acuerdo a los cambios que sufre la materia prima durante el proceso, así se tiene:

a) Aperitivos vegetales de corte natural:

El vegetal fresco se corta finamente y posteriormente se fríe para formar un producto crujiente, como por ejemplo papas chips, yucas fritas, etc.

b) Productos formados de pasta a partir de un derivado de papa.

La pasta de papa se somete a una etapa de extrusión o laminado y luego se fríe, resultando en un producto crujiente.

c) Productos formados de pasta a partir de derivados de maíz:

Son productos crujientes en donde la pasta de maíz, pasa por una etapa de extrusión o laminado, corte y finalmente fritura u horneo.

d) Productos intermedios o aperitivos aglomerados:

Se diferencian de los productos anteriores porque la pasta se somete a una etapa extra de secado después del moldeado en trozos.

e) Aperitivos expandidos directamente:

La materia prima se funde en el interior del extrusor y se expande a medida que sale del troquel.

f) Aperitivos co-extruidos:

Las materias primas se someten a dos extrusiones simultáneas a través de un solo troquel.

2.2.5. Contenido de humedad en alimentos

La determinación de humedad es un paso obligado en el análisis de alimentos, es la base de referencia que permite: comparar valores; convertir a valores de humedad tipo; expresar en base seca y expresar en base tal como se recibió. Por estas razones debe seleccionarse cuidadosamente el método a aplicar para la determinación de humedad en un alimento, ya que un mismo método no sirve para todos los alimentos. En general, los más usados aplican un cierto grado de calor. El alimento sufre cambios que pueden afectar el valor obtenido como humedad. Se pierden compuestos volátiles junto con el agua, como alcohol, aceites esenciales y materia grasa (Jangam et al., 2021).

2.2.6. Textura instrumental en alimentos

El estudio de la textura empezó a mediados del siglo XIX y a principios del XX donde varios científicos fueron capaces de desarrollar instrumentos simples para sus ensayos con alimentos. Pero fue hasta 1950, cuando se empieza a considerar la textura como un tema científico propiamente dicho. Actualmente el campo de estudio dispone de principios desarrollados, conocimientos, etc. y se considera la textura como atributo de calidad positivo excelente para la preparación de alimentos y que contribuye al placer de comer (Szczesniak, 2019).

La textura es un atributo multivariable y para poder entenderla es importante definir las propiedades texturales, así como sus magnitudes, lo cual no resulta tarea sencilla. Por tanto, es necesaria una nomenclatura internacional estándar para asegurar que todas las investigaciones llevadas a cabo en diferentes países se refieren a las mismas propiedades. Las complicaciones para esta estandarización surgen porque algunas palabras al realizar su traducción a otra lengua no siempre son equivalentes, es decir, se usa otra palabra distinta. Una de las pioneras en el desarrollo de la definición de las propiedades de textura basado en propiedades físicas fue la antes citadas Szczesniak, quién intentó clasificar las propiedades mecánicas de la textura de la siguiente manera:

Tabla 5*Propiedades primarias de la textura*

Propiedades primarias	Físicas	Sensoriales
Dureza	Fuerza necesaria para alcanzar una deformación dada.	Fuerza requerida una sustancia entre los molares (en caso de sólidos) o entre la lengua y el paladar (en el caso de semisólidos).
Cohesividad	Extensión a la que un material puede ser deformado antes de que se rompa.	Grado en que una sustancia comprimida entre los dientes antes de romper
Viscosidad	Velocidad de flujo por unidad de fuerza.	Fuerza requerida para llevar un líquido del utensilio a la lengua
Elasticidad	Velocidad a la que un material deformado vuelve a su condición inicial después de que la fuerza que causa la deformación es retirada.	Grado en que un producto vuelve a su forma original una vez que ha sido comprimido entre los dientes.
Adhesividad	Trabajo necesario para superar las fuerzas atractivas entre la superficie del alimento y la superficie de otros materiales con los que el alimento entra en contacto.	Fuerza requerida para eliminar el material que se adhiere a la boca (generalmente al paladar) durante el proceso normal de comer.

Nota. En la tabla se describen las propiedades primarias de la textura como son: dureza, cohesividad, viscosidad, elasticidad y adhesividad, obtenido de Szczesniak (2019).

Tabla 6*Propiedades secundarias de la textura*

Propiedades secundarias	Físicas	Sensoriales
Fracturabilidad	Fuerza con la que un material fractura; es un producto con una alta dureza y un bajo grado de cohesividad.	Fuerza con la que una muestra se desmigaja, agrieta o se hace pedazos.
Masticabilidad	Energía requerida para masticar un alimento sólido hasta el estado adecuado	Periodo de tiempo requerido para masticar la muestra a una velocidad constante de fuerza aplicada, para reducirla a una consistencia adecuada para tragar.
Gomosidad	Energía requerida para desintegrar un semisólido a un estado listo para ser tragado: un producto con un bajo grado de dureza y alto grado de cohesividad.	Espesura que persiste durante la masticación; energía requerida para desintegrar un semisólido a un estado adecuado para tragar.

Nota. En la tabla se describe las propiedades secundarias de la textura como son: fracturabilidad, masticabilidad y gomosidad, obtenido de Szczesniak (2019).

2.2.6.1. Análisis de perfil de textura

El análisis del perfil de textura es una prueba analítica de compresión doble bastante empleada en la industria de alimentos y tiene por objetivo evaluar las propiedades texturales de los alimentos crudos, de procesamiento intermedios o finales. Ocasionalmente es usada en otras industrias para productos farmacéuticos, geles y cuidado personal. Durante una prueba de TPA, las muestras se comprimen dos veces con un analizador de textura para proporcionar una idea de cómo se comportan las muestras. La identidad de textura de cualquier alimento rara vez es una simple cuestión de entender un atributo singular como la dureza, la adhesión, la cohesión o la elasticidad. La textura de cualquier alimento es multifacética y está vinculada a las expectativas funcionales de la materia alimenticia analizada. El TPA como método analítico permite cuantificar

múltiples parámetros de textura en un solo experimento. Los parámetros TPA han evolucionado desde la creación de la prueba, a través de los comentarios de la industria de alimentos y las extensas pruebas realizadas en investigaciones (Texture-Technologies, 2019).

La textura juega un papel importante en la industria alimentaria ya que este parámetro es un criterio de valoración de frescura y calidad para los consumidores. El perfil de textura es el análisis sensorial de la complejidad de las características texturales de un producto, desglosándolas en características mecánicas, geométricas y otras (Stone y Sidel, 2018).

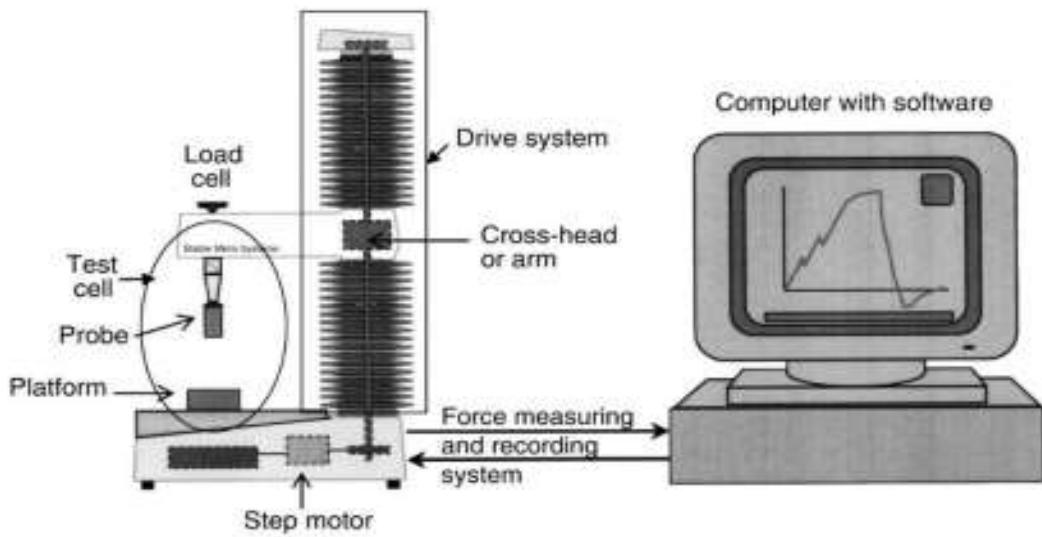
El perfil de textura no sólo se utiliza para medir la textura de un alimento, sino que incluye otros parámetros como: el sabor y el olor. Esta prueba requiere de ocho a diez jueces entrenados. Consiste en que los jueces realicen un análisis descriptivo de cada uno de los componentes, determinando los más representativos hasta percibir los componentes con menor intensidad. Análisis de perfil de textura es un término general para describir la percepción en la boca de las propiedades reológicas. Incluye las determinadas propiedades físicas definidas objetivamente (grado de elasticidad, grado de gomosidad), así como otras descriptivas en las que no existen definiciones tan claras (masticabilidad, gomosidad, adhesividad) (Hernández, 2019).

2.2.6.2. Equipo analizador de textura

Los analizadores de textura constan de cuatro componentes esenciales (Figura 14). Primero, el sistema de transmisión imparte movimiento a un brazo móvil (cross head or arm) que contiene la celda de prueba (test cell). Segundo, la plataforma (platform) de prueba es generalmente estacionaria, se encuentra unida a la base de la máquina y es compatible con el alimento de prueba que sostiene. Tercero, la celda de prueba se describe principalmente por su masa (kg) y se le pueden instalar diferentes pruebas de acuerdo a la necesidad de la investigación. En cuarto lugar, el sistema de medición, registro y análisis de información de prueba. El software utilizado para controlar el analizador de textura es de vital importancia para la calibración de equipo y establecimiento de los parámetros de prueba; es fácil de usar y ofrece una amplia gama de pruebas preestablecidas para diferentes categorías de alimentos (Rolle, Siret, Río-Segade, y Maury, 2022).

Figura 7

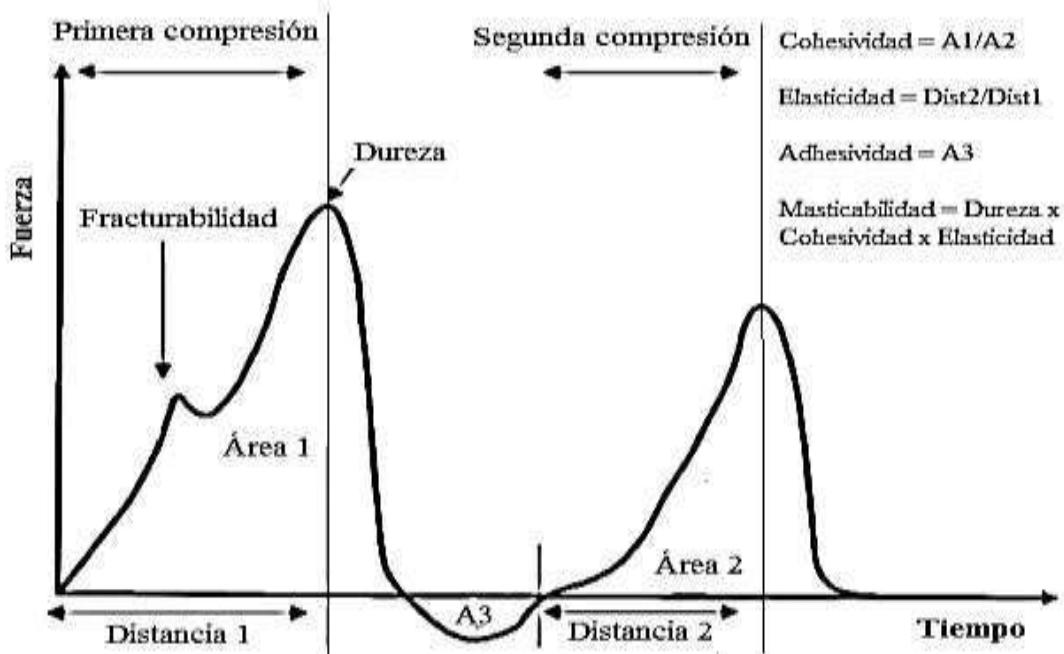
Analizador de textura



Nota. En la figura se muestra el equipo analizador de textura imagen obtenida de Rolle, Siret, Río-Segade, y Maury (2022).

Figura 8

Gráfica general del análisis de perfil de textura



Nota. En la figura se observa una gráfica general del análisis de perfil de textura, imagen obtenida de Hernández (2019).

Los autores De la Ossa y Rivera (2021) describe lo siguiente:

a) Fracturabilidad

Es la primera caída significante de la curva durante el primer ciclo de compresión producto de un alto grado de dureza y bajo grado de cohesividad. Se refiere a la dureza con el cual el alimento se desmorona, cruje o se revienta. Se expresa en unidades de fuerza-Newton.

b) Dureza:

Fuerza máxima que tiene lugar en cualquier tiempo durante el primer ciclo de compresión. Se refiere a la fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar, expresado en unidades de fuerza: Newtons (N) o kg m.s⁻².

c) Cohesividad:

Cociente entre el área positiva bajo la curva de fuerza de la segunda compresión (Área 2) y el área bajo la curva de la primera compresión (Área 1) Representa la fuerza con la que están unidas las partículas, límite hasta el cual se puede deformar antes de romperse. Es adimensional.

d) Adhesividad:

Siguiendo al primer ciclo de compresión se elimina la fuerza cuando la cruceta se mueve a su posición original. Si el material es pegajoso o adhesivo, la fuerza se convierte en negativa. El área de esta fuerza negativa (Área 3), se toma como una medida de la adhesividad de la muestra. Representa el trabajo necesario para despegar el plato de compresión de la muestra o el trabajo necesario para despegar el alimento de la superficie. Se mide en (kg m s⁻²).

e) Gomosidad:

La energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que esté listo para ser tragado. Producto de la dureza por la cohesividad. Se expresa en (kg m/s⁻² o N).

f) Elasticidad:

Es la altura que recupera el alimento durante el tiempo que recorre entre el primer ciclo y el segundo CD/BA. Mide cuanta estructura original del alimento se ha roto por la compresión inicial. Es adimensional, una longitud dividida por otra longitud.

g) Masticabilidad:

Producto de la dureza por la cohesividad y la elasticidad. Representa el trabajo necesario para desintegrar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido. Se expresa en kilogramos fuerza.

2.2.6.3. Importancia del perfil de textura en la industria alimentaria

El análisis de la textura ha sido muy importante y lo seguirá siendo para el desarrollo de múltiples industrias, en la industria alimentaria es relevante enunciar sus aplicaciones:

- Control de calidad de los alimentos: para la aceptación de los productos, estudio de la textura y consistencia de productos alimenticios.
- Control de producción y procesos: Permite la medición y control de variaciones en la textura del alimento causados por variables de proceso tales como: Humedad, tiempo de almacenamiento, tiempo y temperatura de cocción.

Dichas propiedades son muy importantes a la hora de que un producto sea del agrado del consumidor entre otros (De la Ossa y Rivera 2021).

2.2.6.4. Texturómetro Brookfield

El texturómetro Brookfield CT3 - equipo “Texture Pro CT” ha sido diseñado para ser utilizado con el analizador de la textura CT3 y un sistema operativo Windows 2000 o superior. Permite recoger los datos del analizador de textura: guardarlos, visualizarlos, imprimirlas y analizarlos. Las características operacionales incluyen diversas ventajas tales como realizar análisis estadísticos de una muestra y exportar archivos de datos a otros equipos o en formato Microsoft Excel. Permite manipular información como archivo de base de datos de almacenamiento de la estructura, lo que minimiza los requisitos de espacio y permite obtener un archivo fácil y lógico. El Analizador de Textura CT3 puede realizar pruebas o tests de Compresión, APT, o tensión. Nótese que el ensayo que se realiza El test que se realiza en este trabajo es APT (Análisis de Perfiles de Textura). En este análisis la muestra es situada entre la sonda y la sujeción inferior, y la sonda se mueve hacia abajo, presionando sobre la muestra. Los datos resultantes pueden usarse para cálculos de dureza y fracturas (Brookfield Engineering Labs. Inc. 2019).

2.3. Definición de términos básicos

- **Dureza:**

Es una técnica de prueba mecánica que evalúa la resistencia de un material a ser deformado o rayado por otro objeto más duro, mediante la aplicación de una carga controlada y la medición de la hendidura o huella resultante (De la Ossa y Rivera, 2021).

- **Extrusión:**

Consiste en forzar ingredientes mezclados blandos a través de una abertura en una placa perforada o troquel diseñado para producir la forma requerida. Luego, la comida extruida se corta a un tamaño específico mediante cuchillas (García, 2021).

- **Fracturabilidad:**

Fuerza necesaria para romper un alimento o material mediante un equipo especializado, como un analizador de textura o texturómetro, simulando la aplicación de fuerzas controladas, como compresión, a una muestra para medir la resistencia que ofrece antes y durante la fractura, lo que permite cuantificar propiedades como la fragilidad, el crujiente o la quebradiza (Costa y Oliveira, 2019).

- **Humedad en alimentos:**

Es la cantidad de agua presente en un alimento o producto, expresada como porcentaje del peso total. El agua desempeña un papel fundamental en la estructura y composición de los alimentos y productos. Afecta su textura, sabor, capacidad de conservación y, en algunos casos, su seguridad (Harper, 2021).

- **Quinua:**

Es una semilla, pero con características únicas al poder consumirse como un cereal, por lo que se le considera como pseudocereal, se compara con los cereales y se clasifica como un grano integral (Meyhuay, 2023).

- **Maíz morado:**

Es una planta oriunda de los andes peruanos que tiene el epispermo de las semillas (granos) y la tusa (coronta) de color morado, lo que le otorga características especiales a los pigmentos que poseen (entre 1,5% y 6,0%), llamados antocianinas, que pertenecen al grupo de los flavonoides (Araujo 2020).

- **Mezclas alimenticias:**

Son combinaciones de dos o más ingredientes o alimentos que se unen sin cambiar sus propiedades químicas. El propósito puede ser crear un producto final con un perfil nutricional más completo y balanceado (Aguirre y Calderón, 2021).

- **Snacks:**

Son un tipo de alimento que generalmente se utilizan para satisfacer temporalmente el hambre, proporcionar una mínima cantidad de energía para el cuerpo o simplemente por placer. Comúnmente se sirven en reuniones o eventos (Mataix, 2022).

- **Temperatura:**

Se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica (Huber, 2021).

- **Textura instrumental:**

Es un análisis objetivo que utiliza equipos especializados como los texturómetros o analizadores de textura para medir las propiedades físicas de un alimento al someterlo a fuerzas controladas. Estas pruebas simulan las acciones que realiza un consumidor al comer, como cortar, comprimir o estirar, y registran la respuesta del alimento en términos de fuerza, deformación y tiempo (Hernández, 2019).

CAPÍTULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La elaboración del snack de maíz morado y quinua se realizó en la empresa “Nutri Natural Food’s del Perú S.A.C.”; ubicada en el distrito de Llacanora, provincia y departamento de Cajamarca, situada a 11.794 km de la ciudad de Cajamarca, cuyas características geográficas son las siguientes:

Altitud 3.445 m.s.n.m.

Latitud sur: 7°13'13"

Longitud este: 78°25'25"

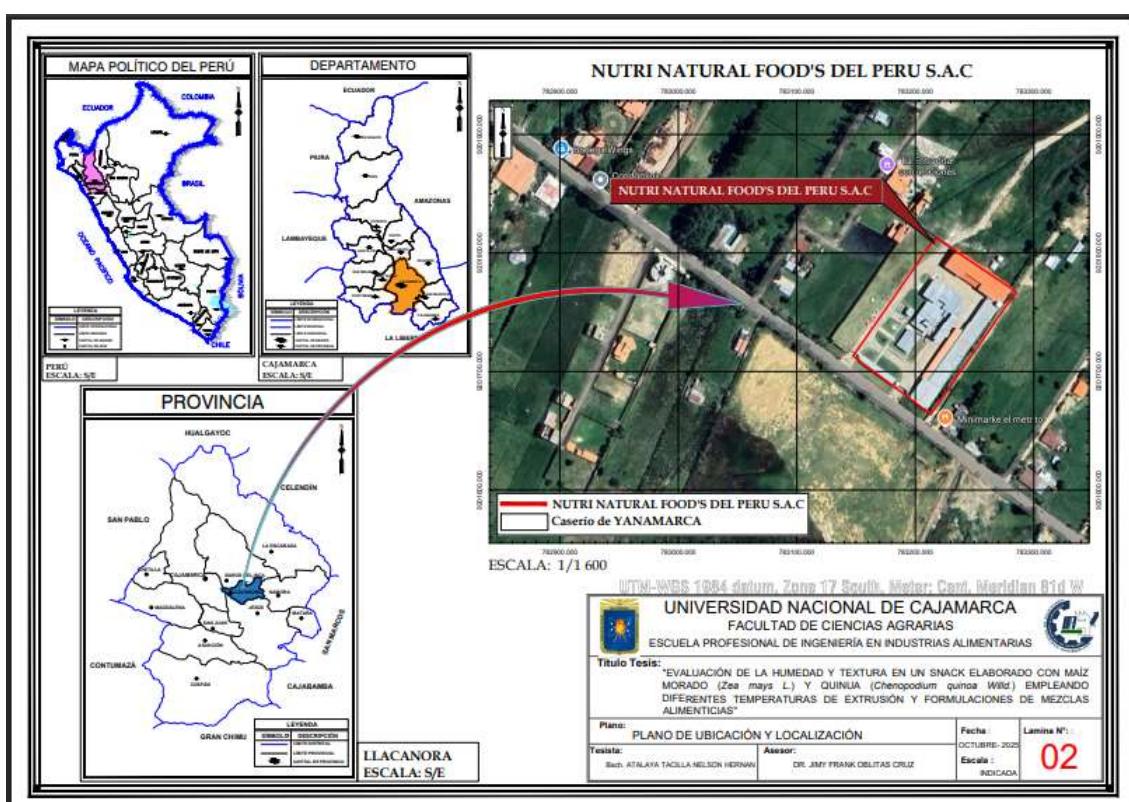
Temperatura promedio 14°C

Humedad relativa 65%

Precipitación promedio anual: 650 mm.

Figura 9

Mapa de ubicación “Nutri Natural Food’s del Perú S.A.C.”



Nota. En la figura se presenta el mapa de ubicación de “Nutri Natural Food’s del Perú S.A.C” (Elaboración propia).

Los análisis de humedad del snack de maíz morado y quinua se realizaron en el 3er piso del Laboratorio de “Bioingeniería y Fermentaciones Industriales” de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), ubicada geográficamente:

Coordenadas: 7°10'01" S 78°29'44" O / -7°166943, -78.495427.

Altitud: 2750 msnm

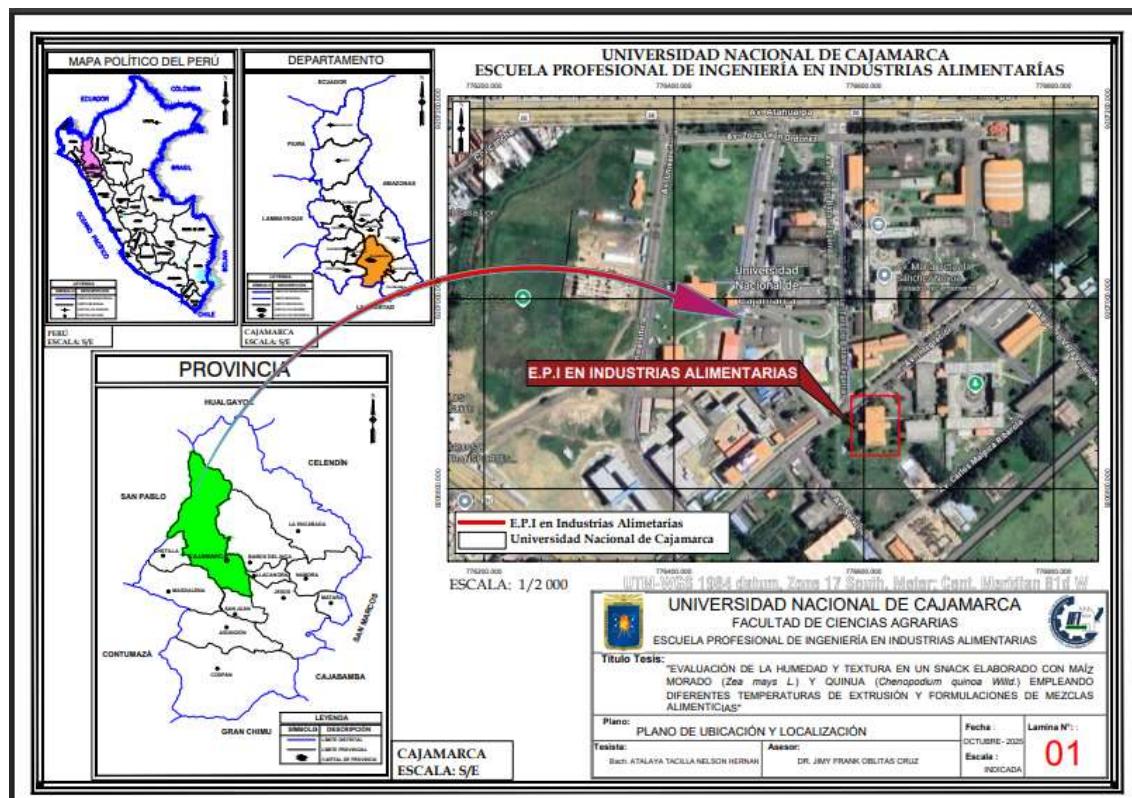
Temperatura: 15°C

Precipitación: 11%

Humedad: 73%

Figura 10

Mapa de ubicación – Universidad Nacional de Cajamarca

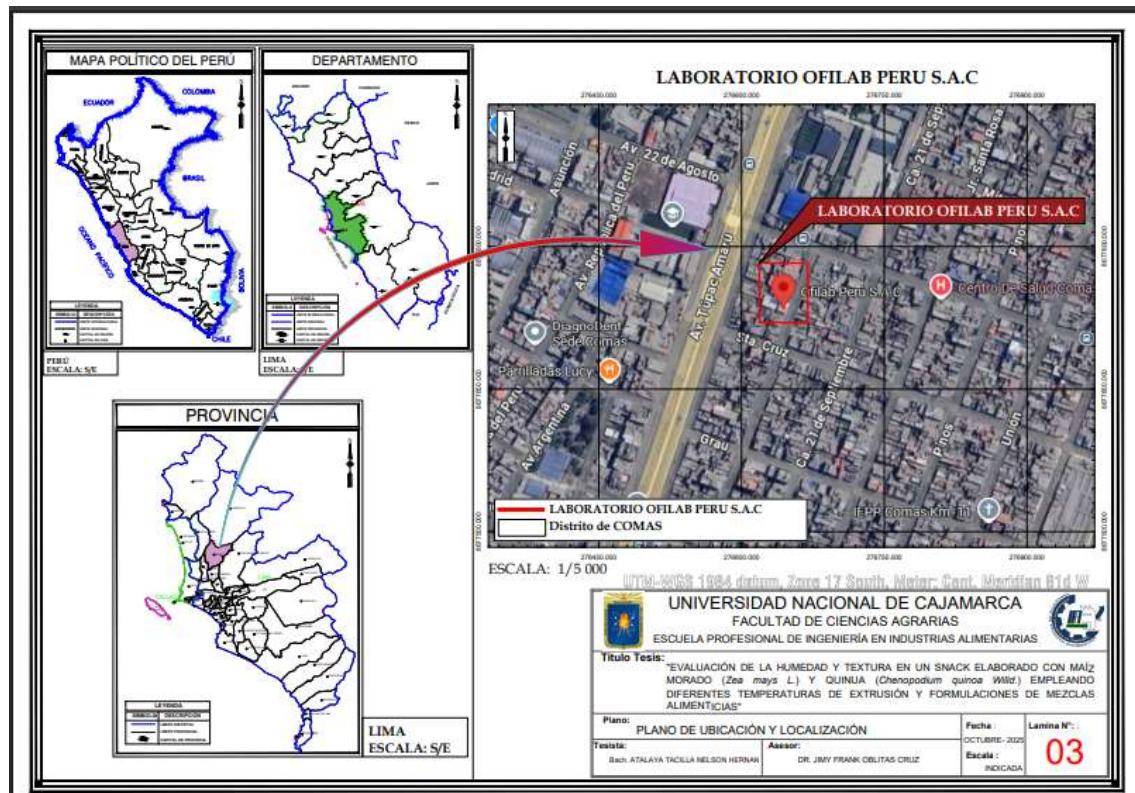


Nota. En la figura se muestra el mapa de ubicación de la universidad nacional de Cajamarca (Elaboración propia).

Los análisis de textura instrumental (dureza y fracturabilidad) del snack extruído de maíz morado y quinua se realizaron en el laboratorio: “OFILAB PERÚ – SAC”, ubicado en Jr. la Libertad 833 Nro. 835, Distrito de Comas, Ciudad de Lima – Perú.

Figura 11

Mapa de ubicación de laboratorio (OFILAB) SAC



Nota. En la figura se observa el mapa de ubicación de: “OFILAB PERÚ – SAC” (Elaboración propia).

3.2. Materia prima

- 81 kg de harina de maíz morado variedad (INIA - 601).
- 54 kg de harina de quinua variedad (Blanca - Imperial).

3.3. Materiales y equipo de laboratorio

a) Materiales para el procesamiento

- Balanza de plataforma – Marca (B y M)
- Balanza digital – Marca (SUPPER – SS)
- Máquina extrusora para snacks – Marca (JORCON DEL PERÚ)
- Molino de martillos – Marca (JORCÓN DEL PERÚ)
- Molino de crudos – Marca (JORCON DEL PERÚ)
- Seleccionadora – Marca (JORCON DEL PERÚ)
- Selladora de bolsas metálicas
- Tamiz de 0.05 mm

b) Materiales y equipos para el análisis fisicoquímico

- Balanza analítica – Marca PRECISA
- Campana desecadora
- Estufa - Marca (DAKOTA)
- Pinzas metálicas
- Placas Petri
- Texturómetro – Marca (BROOKFIELD)

c) Otros materiales

- Botas blancas
- Celular con cámara digital – marca (SONY)
- Cuaderno de apuntes – marca (STANFORD)
- Guantes quirúrgicos
- Hojas bond, fotocopias e impresiones
- Laptop – Marca (HP)
- Lapiceros – marca (PILOT)
- Malla cubre pelo
- Mandil
- Naso bucal (mascarilla)
- USB – marca (KINGSTON)

3.4. Métodos de análisis

3.4.1. Determinación del contenido de humedad

Se pesó cada muestra de (snack extruido de harina maíz morado y harina de quinua) en una balanza analítica y posteriormente, se colocaron en el recipiente y en la estufa, según el tiempo y temperatura establecido, luego se enfrió, pesó la muestra y se realizaró los cálculos respectivos (Cabarcas y Guerra, 2019). Utilizando la ecuación 1:

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

H: Humedad (pérdida por calentamiento en % de masa)

m: masa del recipiente vacío, en g.

m₁: masa del recipiente con la muestra húmeda en g

m₂: masa del recipiente con la muestra seca.

3.4.2. Determinación de textura instrumental

Se analizaron los snacks extruídos de maíz morado y quinua con un Texturómetro Brookfield Analyzer CT3, midiendo la fuerza necesaria para la ruptura del snack, con el método de punto de quiebre en tres puntos, analizando (dureza, fracturabilidad y) citado por (Sozer, Dalgic y Kaya, 2021)

3.5. Metodología experimental

- De acuerdo al tipo de orientación: *Aplicada*
- De acuerdo a la técnica de contrastación: *Diseño experimental*

3.6. Variables de estudio

3.6.1. Variables independientes

- **Temperaturas de extrusión:**

T_1 : 90°C, T_2 : 100°C y T_3 : 110°C

Nota. Las temperaturas de extrusión se tomaron de referencia de las investigaciones de (Vinces y Zavala, 2020), (Romero, 2018) y (Repo, Pilco y Encina, 2021).

- **Formulaciones de mezclas alimenticias:**

T_1 : 50% harina de maíz morado y 50% harina de quinua

T_2 : 60% harina de maíz morado y 40% harina de quinua

T_3 : 70% harina de maíz morado y 30% harina de quinua

Nota. las formulaciones de harina de maíz morado/harina de quinua se tomaron de referencia de trabajos de investigación de (Galindo, 2018), (Valderrama et. al. 2020), (Naigua, 2023) y (González, Sánchez y Lavado, 2025).

3.6.2. Variables dependientes

- Humedad
- Textura instrumental (dureza y fracturabilidad)

3.7. Unidad de análisis, población, muestra de estudio

3.7.1. Unidad de análisis

Se utilizó maíz morado y quinua, de acuerdo a criterios óptimos y de calidad.

3.7.2. Población

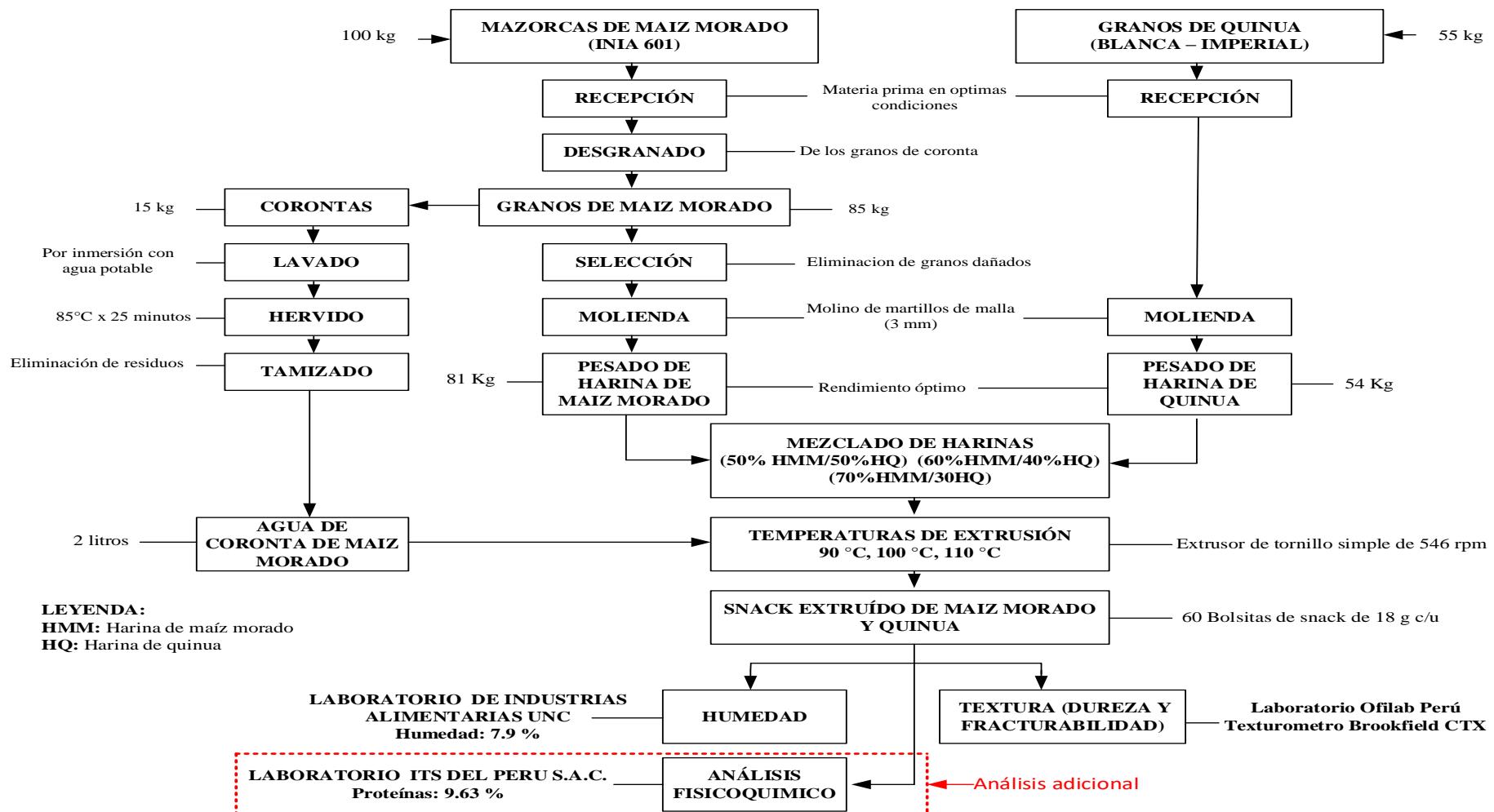
El maíz morado variedad “INIA 601” tuvo como procedencia del distrito de Contumazá, provincia de Cajamarca y la quinua variedad “Blanca - Imperial” tuvo como lugar de procedencia de la ciudad de Chiclayo.

3.7.3. Muestra de estudio

Se elaboró 60 porciones de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua de 18 gramos cada una y las cuales se distribuyeron en 30 porciones para análisis de humedad y 30 porciones para análisis textura instrumental (dureza y fracturabilidad).

Figura 12

Proceso de elaboración de snack extruído de harina de maíz morado y harina de quinua



Nota. En la figura se observa el flujograma para la obtención de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua, modelo adaptado de (Galindo, 2018).

3.8. Proceso de obtención del snack extruido de maíz morado y quinua

- 1. Recepción:** Las materias primas: mazorcas de maíz morado y granos de quinua se recepcionaron y almacenaron adecuadamente hasta su uso (Ramírez, 2023).

Figura 13

Recepción de materia prima



Nota. En la figura se observa la etapa de recepción de materia prima

- 2. Desgranado:** Se desgranaron las mazorcas de maíz morado manualmente con la finalidad de desprender los granos de la taza (De la cruz, Quenán, Castro y Naspirán, 2024).

Figura 14

Desgranado de mazorcas



Nota. En la figura se observa la etapa de desgranado de mazorcas.

3. Selección: Se seleccionó la materia prima en óptimas condiciones, con el mismo nivel de frescura y calidad, sin daño físico ni microbiológico (Valderrama, 2019).

Figura 15

Selección de materia prima



Nota. En la figura se observa la etapa de selección de materia prima

4. Molienda: La molienda de la quinua y maíz morado se realizó mediante un molino de martillo con malla de 3 mm, obteniéndose las harinas molidas sin presencia de partículas gruesas (Naigua y González, 2023).

Figura 16

Molienda



Nota. En la figura se observa la etapa de molienda.

5. Pesado: Se pesaron las harinas de quinua y maíz morado para controlar el flujo óptimo del proceso productivo. Este pesado se realizó según la formulación de cada tratamiento (Pantoja, Sánchez, y Hoyos, 2021).

Figura 17

Pesado



Nota. En la figura se observa la etapa de pesado de harinas de maíz morado y quinua.

6. Mezclado: Se mezcló ambas harinas, de acuerdo a las formulaciones de las mezclas alimenticias en (%) de harina de maíz morado/harina de quinua: T1: 50/50, T2: 60/40, T3: 70/30 (Ramos, 2022).

Figura 18

Mezclado



Nota. En la figura se observa la etapa de mezclado.

- 7. Hervido de corontas:** Con la finalidad de darle un color más atractivo al producto se adicionó como colorante natural un líquido extraído de las corontas hervidas de maíz morado, las mismas que se llevaron a ebullición a una temperatura de 90°C por un lapso de 1 hora (Apró, Rodriguez, y Gornatti, 2020).

Figura 19

Hervido de corontas



Nota. En la imagen se observa la etapa de hervido de corontas de maíz morado.

- 8. Adición del líquido (agua de coronta):** Se agregó el agua de coronta, justo en el momento de la extrusión, la cual se adicionó mediante una bomba (Kent, 2023).

Figura 20

Adición del líquido (agua de coronta)



Nota. En la imagen se observa la adición del agua de coronta.

9. Extrusión: Se utilizó un extrusor con tornillo simple a 546 rpm con 3 zonas (alimentación, compresión, y dosificación), con temperaturas de extrusión: (90°C, 100°C y 110 °C), velocidad de alimentación: 30 rpm (2.5 kg/min), caudal de agua 95 ml/min, matriz de salida 0.5 cm y flujo de masa de 150 kg/h (Pérez, 2022).

Figura 21

Extrusión



Nota. En la imagen se observa la etapa de extrusión.

10. Enfriado: El material extruido se recepcionó en bandejas de acero inoxidable, en esta etapa el producto se enfrió a temperatura ambiente con la finalidad de eliminar parte del agua que pudiese tener (Colonna, Tayeb, y Mercier, 2022).

Figura 22

Enfriado



Nota. En la imagen se observa la etapa de enfriado.

11. Pesado de producto final: Se cortaron a una medida de 5 cm, con una forma de palitos rectangulares, luego se pesaron con la finalidad de ver la cantidad a introducir en cada una de las bolsas de envase (Cadena, 2021).

Figura 23

Pesado de producto final



Nota. En la imagen se observa el pesado del producto final

12. Envasado y almacenado: Finalmente los snacks extruidos de maíz morado y quinua se envasaron en bolsas con cierre hermético y se almacenaron a temperatura ambiente (Aguirre y Calderón, 2021).

Figura 24

Envasado y almacenado



Nota. En la imagen se observa la etapa de envasado y almacenado.

3.9. Factores de estudio

Tabla 7

Factores de estudio

Factor A	
Temperatura de extrusion	°C
A_1	90°C
A_2	100°C
A_3	110°C
Factor B	
Harina de maíz morado/harina de quinua	(%)
B_1	50% harina de maíz morado / 50% harina de quinua
B_2	60% harina de maíz morado / 40% harina de quinua
B_3	70% harina de maíz morado / 30% harina de quinua

Nota. En la tabla se describe los factores de estudio para esta investigación donde el factor A corresponde a la temperatura de extrusión y el factor B corresponde a las formulaciones de alimenticias de (harina de maiz morado / harina de quinua).

3.10. Diseño experimental y arreglo de los tratamientos

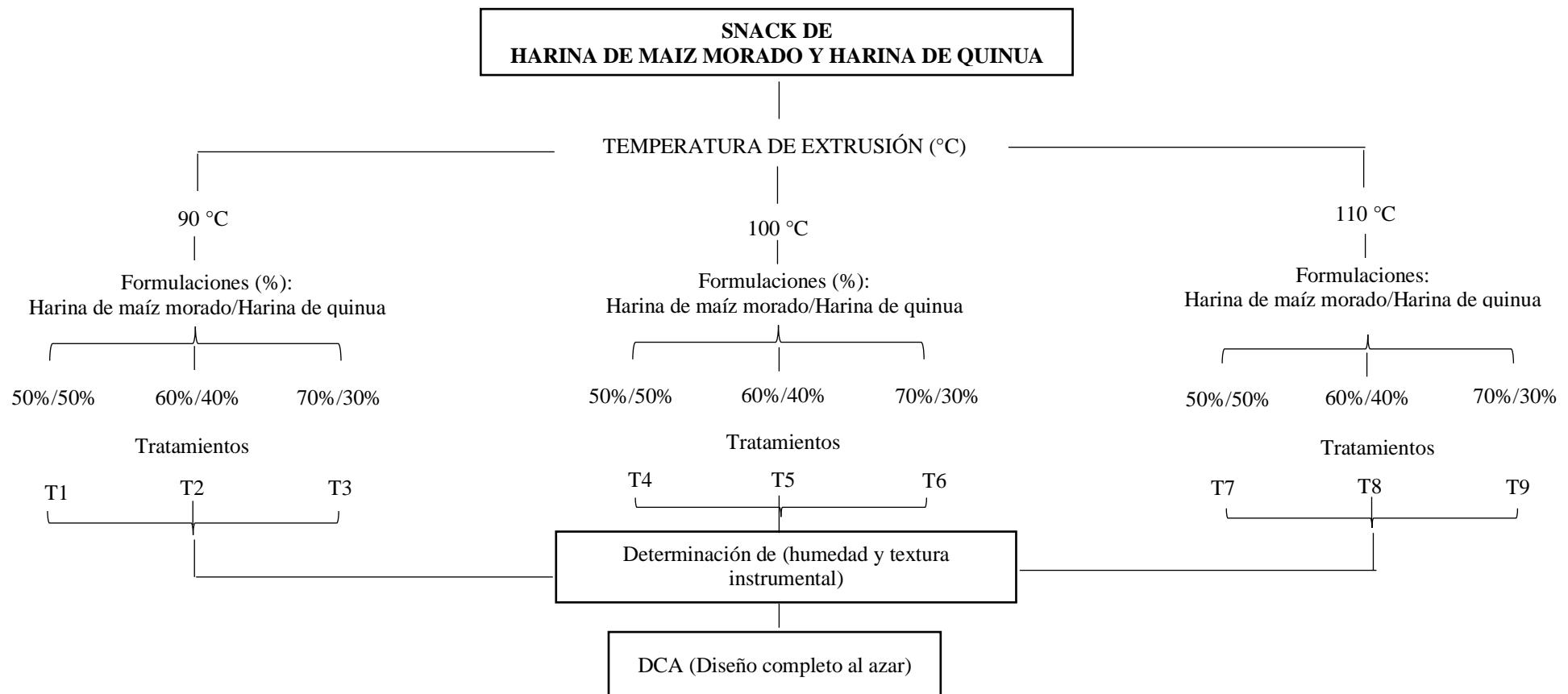
Se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres (3) repeticiones y estructura factorial 3A x 3B. El primer factor (A) corresponderá a la Temperatura de extrusión: ($a_1=90^{\circ}\text{C}$, $a_2=100^{\circ}\text{C}$, $a_3=110^{\circ}\text{C}$). El factor B corresponderá a las formulaciones de mezclas alimenticias: ($b_1= 50\%$ harina de maíz morado y 50% harina de quinua, $b_2= 60\%$ harina de maíz morado y 40% harina de quinua, $b_3= 70\%$ harina de maíz morado y 30% harina de uinua) con 3 repeticiones respectivamente.

Seguidamente los datos fueron tabulados y analizados mediante análisis de varianza ANOVA para la determinación de diferencias significativas entre tratamientos (combinación de factores) posteriormente, se realizó la prueba de rango múltiple de tukey al 5% de probabilidad para el factor significativo. Se realizaron los gráficos en el software de análisis estadístico (Statgraphics).

A continuación en la figura 25 se presenta el esquema de tratamientos establecidos para esta investigación:

Figura 25

Esquema de tratamientos



Nota. En la figura se describe las temperaturas de extrusión y las formulaciones de mezclas alimenticias (harina de maíz morado/harina de quinua), adaptado de Galindo (2018).

3.11. Modelo estadístico

En nuestra investigación utilizaremos el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde;

Y_{ijk} = Respuesta

μ = Efecto medio

α_i = Efecto verdadero del i-ésimo nivel del factor A

β_j = Efecto verdadero del j-ésimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto verdadero de la interacción

ε_{ijk} = Error experimental

Los factores y los correspondientes niveles son:

- **Factor A (Temperatura de extrusión):**

Nivel $a_1 = 90^{\circ}\text{C}$

Nivel $a_2 = 100^{\circ}\text{C}$

Nivel $a_3 = 110^{\circ}\text{C}$

- **Factor B (Formulaciones de mezclas alimenticias):**

Nivel $b_1 = 50\%$ harina de maíz morado / 50% harina de quinua

Nivel $b_2 = 60\%$ harina de maíz morado / 40% harina de quinua

Nivel $b_3 = 70\%$ harina de maíz morado / 30% harina de quinua

3.12. Análisis de varianza

Tabla 8

Análisis de varianza para factorial de 2 factores (A y B) en un diseño completamente al azar con tres repeticiones.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	F
Modelo I			
Tratamientos ($t - 1$): 8			
A ($a - 1$): 2			$\frac{CM_{(A)}}{CM_{\text{error}}}$
B ($b - 1$): 2			$\frac{CM_{(B)}}{CM_{\text{error}}}$
A B ($(a - 1)(b - 1)$): 4			$\frac{CM_{(AB)}}{CM_{\text{error}}}$
Error	ab(n-1)	27	
Total	abn - 1	35	

Nota. En la tabla se describe la fuente de variación, grados de libertad, y suma de cuadrados, tratamientos y modelo estadístico.

3.13. Matriz de tratamientos

Tabla 9

Matriz de tratamientos

Unidades experimentales	Tratamientos	Niveles (Combinaciones)	Factor A Temperatura extrusión (°C)	Factor B Harina de maíz morado/Harina de quinua (%)	Repeticiones
1	T ₁	a ₁ b ₁	90°C	50%/50%	3
2	T ₂	a ₁ b ₂	90°C	60%/40%	3
3	T ₃	a ₁ b ₃	90°C	70%/30%	3
4	T ₄	a ₂ b ₁	100°C	50%/50%	3
5	T ₅	a ₂ b ₂	100°C	60%/40%	3
6	T ₆	a ₂ b ₃	100°C	70%/30%	3
7	T ₇	a ₃ b ₁	110°C	50%/50%	3
8	T ₈	a ₃ b ₂	110°C	60%/40%	3
9	T ₉	a ₃ b ₃	110°C	70%/30%	3

Nota. En la tabla se describe la matriz de tratamientos; donde el factor (A) corresponde a las temperaturas de extrusión: (a₁=90°C, a₂=100°C, a₃=110°C); y el factor (B) corresponde a las formulaciones de mezclas alimenticias: (b₁= 50% harina de maiz morado y 50% harina de quinua, b₂= 60% harina de maiz morado y 40% harina de quinua, b₃= 70% harina de maiz morado y 30% harina de quinua) con tres repeticiones y con un total de nueve (9) unidades experimentales.

CAPÍTULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Contenido de humedad (%) en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

En la tabla 10 se presentan los promedios para contenido de humedad (%) en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Tabla 10

Promedios de contenido de humedad (%) en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN (°C)	FORMULACIONES DE:		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
		HARINA DE MAÍZ	MORADO/HARINA DE QUINUA	
T ₁	90°C	50%/50%		8.01%
T ₂	90°C	60%/40%		8.90%
T ₃	90°C	70%/30%		8.65%
T ₄	100°C	50%/50%		8.78%
T ₅	100°C	60%/40%		8.18%
T ₆	100°C	70%/30%		9.73%
T ₇	110°C	50%/50%		8.19%
T ₈	110°C	60%/40%		7.97%
T ₉	110°C	70%/30%		8.51%

Nota. En la tabla se observa que el mayor contenido de humedad fue 9.73 % ubicado en T6 con temperatura de extrusión (100°C) y formulación de (70% harina de maíz morado / 30% harina de quinua). Y el menor contenido de humedad fue 7.97 % ubicado en T8 con temperatura de extrusión de (110°C) y formulación de (60% harina de maíz morado /40% harina de quinua) siendo este el tratamiento ideal.

En la tabla 11 se presentan los resultados de análisis de varianza para humedad en snacks de harina de maíz morado y harina quinua:

Tabla 11

Análisis de varianza para humedad para snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura de extrusion	0.398427	1	0.398427	1.85	0.1900
B: Harina maiz morado/Harina quinua	1.83936	1	1.83936	8.53	0.0088
AB: T°extrusión*HMM/HQ	0.0752083	1	0.0752083	0.35	0.5618
Bloques	0.156591	2	0.0782953	0.36	0.7003
Error total	4.09788	19	0.215678		
Total (corr.)	8.71621	26			

Nota. En la tabla se muestra el análisis de varianza (ANOVA) para humedad, donde el factor: B (harina maiz morado/harina quinua) muestra una alta significancia con valor ($p < 0.05$) es decir que este factor ejerce un efecto significativo en las muestras.

La temperatura de extrusión tiene un efecto inversamente proporcional en la humedad de los snacks de harina de maíz morado y harina de quinua, pues a medida que se incrementa la temperatura, el calor provoca la vaporización del agua contenida en la mezcla, reduciendo el contenido de humedad final del producto extruido, esto es esencial para lograr la textura expandida y crujiente característica de los snacks. Se obtiene una mayor gelatinización del almidón, debido a que las altas temperaturas, junto con la presión y el cizallamiento, rompen las cadenas de almidón del maíz y la quinua, modificando su estructura y permitiendo que se gelatinicen más, se produce una mayor expansión creando una estructura más porosa y menos densa, contribuyendo a una textura más crujiente y deseable en el producto final, esto se ve reflejado en los resultados de nuestra investigación ya que aplicando temperaturas altas de 110°C se obtiene valores bajos de humedad del (7.97%) en los snacks, asimismo al aplicar temperaturas de 100°C se obtiene valores altos de humedad del (9.73%) lo que se interpreta que cuando las temperaturas son más bajas resulta una menor evaporación, lo que puede dar lugar a un snack con mayor contenido de humedad, menor expansión con una textura más densa (Lavado, 2022).

La inclusión de harinas de maíz morado y harina de quinua en snacks extruidos influye directamente en el contenido de humedad, afectando la textura, la vida útil y las propiedades funcionales del producto final. La quinua, rica en proteínas y fibra, tiene una mayor capacidad de retención de agua, lo que altera el índice de absorción y solubilidad en agua del snack. Por su parte, el maíz morado incide en las propiedades físicas y en la aceptación general, dependiendo de la proporción utilizada (Ding, Ainsworth, Plunkett, Tucker y Marson, 2022).

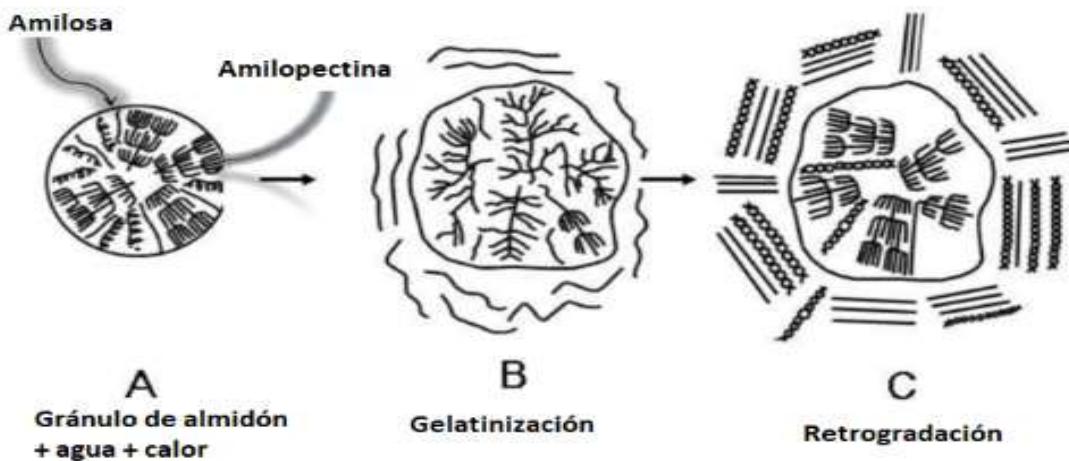
Existe un efecto en la proporción de ingredientes, pues a medida que aumenta la proporción de quinua en la formulación, también lo hacen el contenido de proteína y fibra, así como el índice de absorción de agua. Esto se debe a que las proteínas y la fibra de la quinua tienen una gran capacidad para unirse al agua, asimismo una proporción moderada de maíz morado, combinada con quinua, puede dar como resultado una expansión adecuada del extruido. La proporción ideal de cada ingrediente depende de las características deseadas para el producto final. Por ejemplo, en nuestra investigación, se ha visto que una mezcla de 70% harina de maíz morado y 30% harina de quinua obtuvo una humedad de (9.73%) presentando un buen índice de absorción y solubilidad en agua; a diferencia de aplicar la formulación de 60% harina de maíz morado y 40% harina de quinua la cual obtuvo una humedad de (7.97%) demostrando en nuestros estudios que presentan un contenido de humedad menor e ideal (Ding, Ainsworth, Plunkett, Tucker y Marson, 2022).

El contenido de humedad en los snacks también se puede ver influenciado por el proceso de extrusión, ya que además de la formulación, los parámetros del proceso de extrusión, como el contenido inicial de humedad de la mezcla, la temperatura y la velocidad del tornillo, también determinan la humedad del snack final, ya que una baja humedad durante el proceso de extrusión permite una mayor expansión del producto. Una alta retención de humedad, por el contrario, afecta negativamente la calidad, aumentando la dureza y la densidad, asimismo las harinas de maíz y harina quinua extruidas a distintas temperaturas presentan variaciones en sus propiedades de hidratación y viscosidad. La formulación con harinas de maíz morado y quinua es un factor determinante en la evaluación de la humedad de los snacks extruidos. La quinua, por su alto contenido de proteínas y fibra, tiende a aumentar la retención de agua, mientras que la proporción de maíz morado influye en la expansión y las propiedades físicas (Jangam, Law y Mujumdar, 2021).

En la figura 26 se esquematiza la evolución del gránulo de almidón:

Figura 26

Evolución del gránulo del almidón



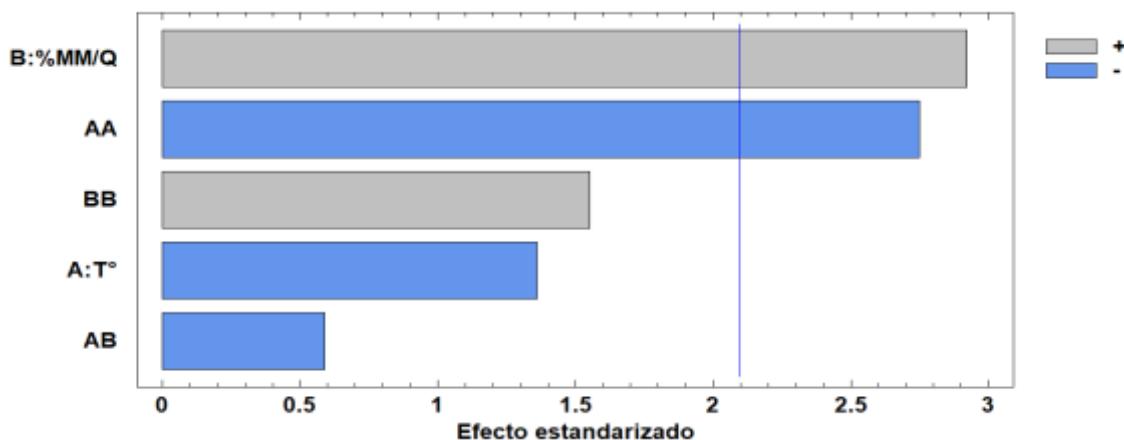
Nota. En la figura se observa el proceso de gelatinización del almidón, el cual se produce cuando se calienta y se absorbe el líquido en las zonas intermicelares amorfas de amilopectina, que son las menos organizadas y las más accesibles, ya que los puentes de hidrógeno no son tan numerosos ni rígidos como en las áreas cristalinas de amilosa. A medida que se incrementa la temperatura se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y a aumentar de volumen, fenómeno que puede observarse en el microscopio, sin que se presente un aumento importante en la viscosidad; una vez que la parte amorfa se ha hidratado completamente, la cristalina inicia un proceso semejante, pero esto requiere más energía (Guillén, Sánchez, Mori y Paucar, 2024).

Al llegar a 65°C, el gránulo alcanza su volumen máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayos X como la propiedad de birrefringencia; si se administra más calor, el gránulo hinchado, incapacitado para retener el líquido, se rompe parcialmente y la amilosa y la amilopectina, fuertemente hidratadas, se dispersan en el seno de la disolución. En este punto se pierden la estructura original y la birrefringencia del gránulo; esto va aunado a un aumento de la viscosidad en donde 30% de la amilosa se encuentra en solución. A este proceso se le llama gelatinización donde se transforma los gránulos de almidón insolubles en una solución de las moléculas constituyentes en forma individual (Xu, Xianfeng, Peirong, Li, Yan, y Xiuhong, 2017).

En la figura 27 se presenta el gráfico con efecto estandarizado para humedad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Figura 27

Gráfico con efecto estandarizado para humedad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

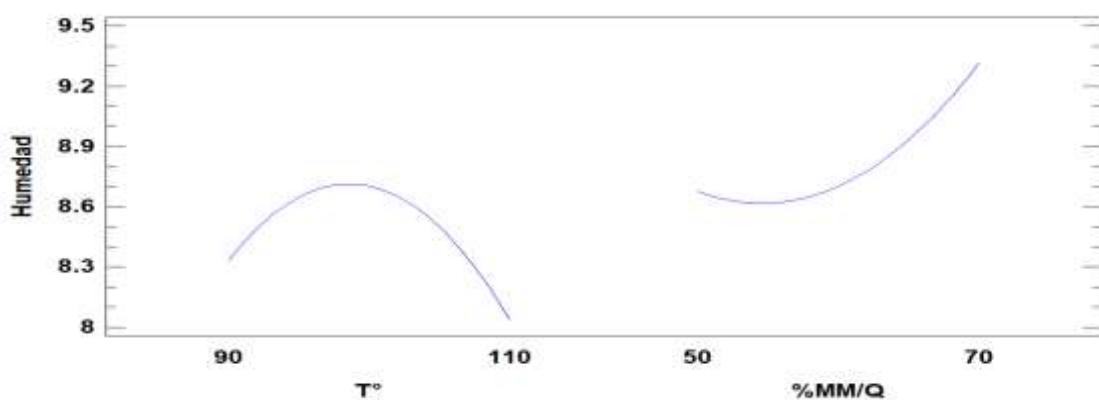


Nota. En la figura se observa únicamente significancia estadística en el factor: "B" (formulaciones harina de maiz morado/harina de quinua).

En la figura 28 se presenta el gráfico de efectos principales para humedad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Figura 28

Gráfico de efectos principales para humedad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

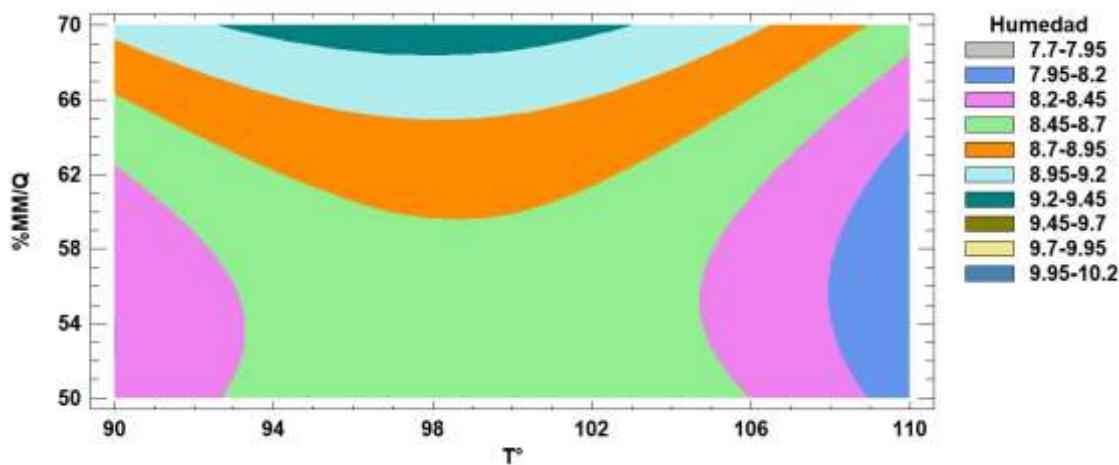


Nota. En la figura se observa que a temperaturas bajas de extrusión (90°C) se obtiene una humedad alta (8.3%) y a temperaturas de extrusión altas (110°C) se obtiene una humedad baja (8%), A menores formulaciones de (50% harina de maíz morado/50% harina de quinua) se obtiene una humedad baja (8.6%) y a mayores formulaciones de (70% harina de maiz morado/30% harina de quinua) se obtiene una humedad alta (9.3%).

En la figura 29 se presenta el gráfico de superficie de respuesta para humedad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Figura 29

Gráfico de superficie de respuesta para humedad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

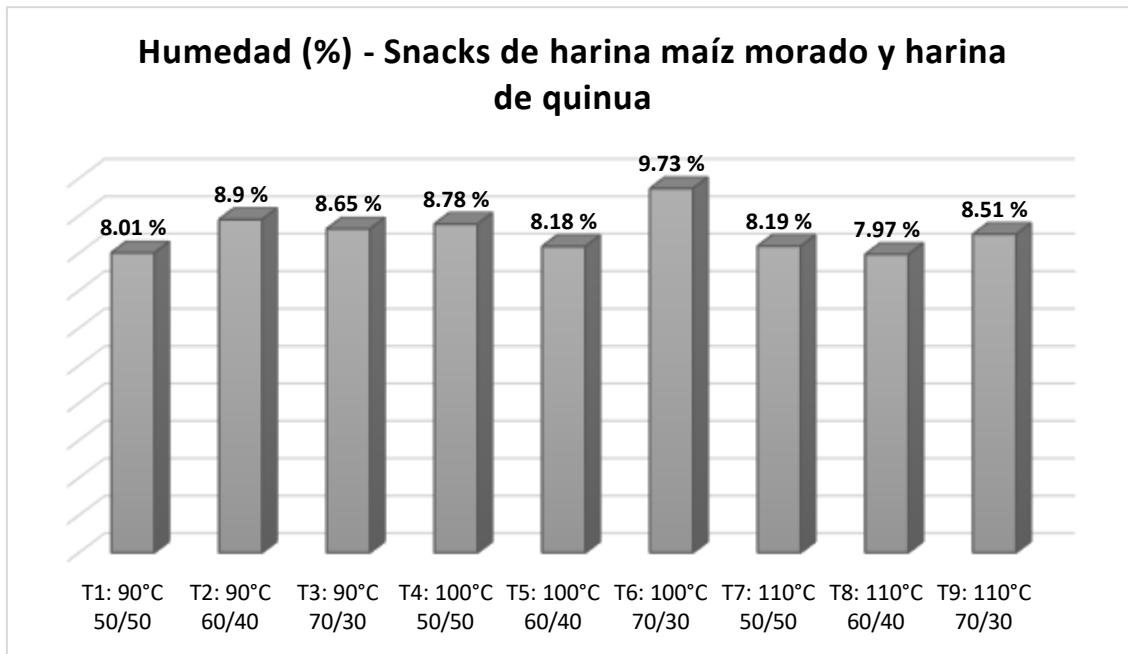


Nota. En la figura se muestra el gráfico de superficie de respuesta para humedad, donde se obtiene porcentajes de humedad bajos comprendidos entre (7.95% - 8.2%) empleando temperaturas de extrusión altas (110°C) y formulaciones de (50%maíz morado/50%quinua); y se obtiene porcentajes de humedad altos comprendidos entre (8.95 - - 9.2) empleando temperaturas de extrusión bajas (90°C, 94°C, 98°C, 102°C y 105°C) y formulaciones de (70% harina de maíz morado/30% harina de quinua).

En la figura 30 se presenta los promedios de contenido de humedad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Figura 30

Promedios de contenido de humedad en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua



Nota. De la tabla 10 y la figura 30 se observa un mayor contenido de humedad del 9.73% en el tratamiento “T6” para snacks elaborados empleando una temperatura de extrusión de 100°C con formulaciones de harina de maíz morado/harina de quinua (70%/30%); asimismo se observa un menor contenido de humedad del 7.97% en el tratamiento “T8” para snacks elaborados empleando una temperatura de extrusión de 110°C con formulaciones de harina de maíz morado/harina de quinua (60%/40%) siendo este tratamiento el ideal para nuestra investigación.

Los resultados de nuestra investigación se asemejan a los obtenidos por González, Sánchez y Lavado (2025) quienes evidenciaron en cuanto al contenido de humedad, que el maíz morado presentó un valor de humedad superior ($8.18 \pm 0.047\%$) frente a la quinua ($5.14 \pm 0.082\%$), con formulaciones de harina de maiz morado / harina de quinua (60%/40%) con temperaturas de (100°C y 110°C) lo que tiene implicancias en la estabilidad y vida útil del producto final snacks de harina de maíz morado/harina de quinua, ya que mientras más seco sea el producto y su pérdida de humedad sea más significativa esto frenará el deterioro microbiológico (Pathania et al., 2023). Repo, Pilco y Enzina (2021) señalan como la mejor variedad de quinua para el proceso de extrusión fue la “chullpi” y la mezcla óptima fue 70% harina de quinua y 30% harina de maíz

morado. Este producto ofrece una alternativa nutritiva a los snacks tradicionales y posee las mejores características de humedad del 8%.

De otro lado nuestros resultados difieren con los resultados obtenidos por Naigua y González (2023) quienes al analizar el porcentaje de humedad de snacks elaborados con maíz morado y diferentes concentraciones de quinua, donde evidenciaron un nivel de humedad del 4.72% aplicando 15% de quinua, en comparación de aplicar 30% de quinua obteniéndose un nivel de humedad de 4.21%. Billeb de Sinibaldi y Bressani (2021) en estudios realizados con harinas nixtamalizadas donde la humedad promedio fue de 4.88%, esto se debe a que se utilizó el mismo método de cocción que es el horneado que consiste en reducir la humedad de la masa laminada mediante la aplicación de un flujo de aire caliente y constante, provocando su deshidratación por convección forzada y Arriola, et. al. (2020) registró una humedad de 2 % en bocaditos a base de maíz empleando un proceso de fritura como método de cocción, se dice que durante la etapa de fritura, se produce una deshidratación rápida, alcanzando niveles de humedad entre el 1,5% y el 2,5% señalado por (Almeida, 2021).

En nuestra investigación los valores de humedad de los 9 tratamientos de estudio evaluados se encuentran en un rango de humedad de (7 % a 8%), observándose un mayor contenido de humedad del 9.73% en el tratamiento “T6” para snacks elaborados empleando una temperatura de extrusión de 100°C con formulaciones de harina de maíz morado/harina de quinua (70%/30%); asimismo se observa un menor contenido de humedad del 7.97% en el tratamiento “T8” para snacks elaborados empleando una temperatura de extrusión de 110°C con formulaciones de harina de maíz morado / harina de quinua (60%/40%) siendo este tratamiento el ideal para nuestra investigación. Cabe resaltar que la cantidad de humedad presente en el producto es crucial cuando se trata de su almacenamiento y vida útil, ya que los niveles por debajo del 10% disminuyen el riesgo de desarrollo de microorganismos (Jagbir, et al., 2022).

4.2. Textura instrumental en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

4.2.1. Dureza (gf) en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

En la tabla 12 se presentan los promedios para dureza (gf) en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Tabla 12

Promedios de dureza (gf) en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN (°C)	FORMULACIONES DE:		DUREZA (gf)
		HARINA DE MAÍZ	MORADO/HARINA DE QUINUA (%)	
T ₁	90°C	50%/50%		67.76 gf
T ₂	90°C	60%/40%		57.36 gf
T ₃	90°C	70%/30%		71.73 gf
T ₄	100°C	50%/50%		69.26 gf
T ₅	100°C	60%/40%		67.60 gf
T ₆	100°C	70%/30%		74.30 gf
T ₇	110°C	50%/50%		70.40 gf
T ₈	110°C	60%/40%		70.36 gf
T ₉	110°C	70%/30%		41.86 gf

Nota. En la tabla se muestra los promedios de dureza donde se observa una mayor dureza (74.30gf) en “T6” en snacks extruidos a 100°C con formulaciones de harina de maíz morado/harina de quinua (70%/30%); y también se observa una menor dureza (41.86gf) en “T9” en snacks extruídos a 110°C con formulaciones de harina de maíz morado/harina de quinua (70%/30%).

En la tabla 13 se presentan los resultados de análisis de varianza para dureza en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Tabla 13

Análisis de varianza para dureza en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

Fuente	Suma de Cuadrados	G1	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura de extrusión	101.294	1	101.294	0.64	0.4337
B: Harina maíz morado/Harina quinua	190.776	1	190.776	1.21	0.2860
AB: T° extrusion*HMM/HQ	792.187	1	792.187	5.00	0.0375
Bloques	339.025	2	169.513	1.07	0.3626
Error total	3008.02	19	158.317		
Total (corr.)	4740.72	26			

Nota. En la tabla se muestra el análisis de varianza (ANOVA) para dureza donde la interacción de factores AB (temperatura de extrusion*Harina de maiz morado/Harina de quinua) fue significativo ($p < 0.05$) ejerciendo un efecto en las muestras, es decir que ambos están asociados o correlacionados.

Las altas temperaturas de extrusión provocan una gelatinización más completa del almidón y una mayor expansión del snack al salir de la boquilla del extrusor, como se observa en nuestra investigación donde aplicando temperaturas de extrusión de 110°C se obtuvo una menor dureza de (41.86%), ya que el agua se vaporiza rápidamente, y la estructura es más expandida y porosa como el resultado de una menor densidad aparente, lo que se traduce en una menor resistencia a la fractura y, por lo tanto, una menor dureza. La mayor porosidad y la menor densidad dan como resultado una textura más crujiente y deseable para los consumidores de snacks, como lo evidenciado en nuestra investigación que a temperaturas de extrusión de 100°C se obtuvo una mayor dureza con (74.3%) generando una menor expansión, haciendo que las temperaturas más bajas resulten en una gelatinización incompleta del almidón y una menor expansión del producto con una estructura más compacta o dura, una mayor densidad, aumentando su resistencia a la fractura, es decir una mayor densidad implica que se requiera más fuerza para romper el snack y que sea menos crujiente (Cadena, 2021).

Existe un impacto en las harinas de maíz morado y de quinua ya que la temperatura de extrusión interactúa con las propiedades específicas de estos cereales andinos: como por ejemplo el almidón de maíz morado, el cual es el principal componente responsable de la expansión y la estructura del snack. La gelatinización completa a altas temperaturas

es crucial para lograr una buena expansión y una baja dureza y la quinua es conocida por su alto contenido proteico (Apró, Rodriguez y Gornatti, 2020).

El efecto de la quinua en el snack radica en que aporta propiedades que afectan directamente la dureza y otras cualidades del snack extruido, la adición de altos porcentajes de quinua a la mezcla puede resultar en un snack más denso y, por lo tanto, con mayor dureza. Esto se debe a que la quinua, al ser una fuente de proteína y fibra, tiene una menor capacidad para expandirse en comparación con el almidón de cereales como el maíz, también por su elevado contenido de proteínas y fibra en la quinua interfiere con la gelatinización del almidón durante el proceso de extrusión, generando una textura más dura y menos porosa (Cisneros, 2022).

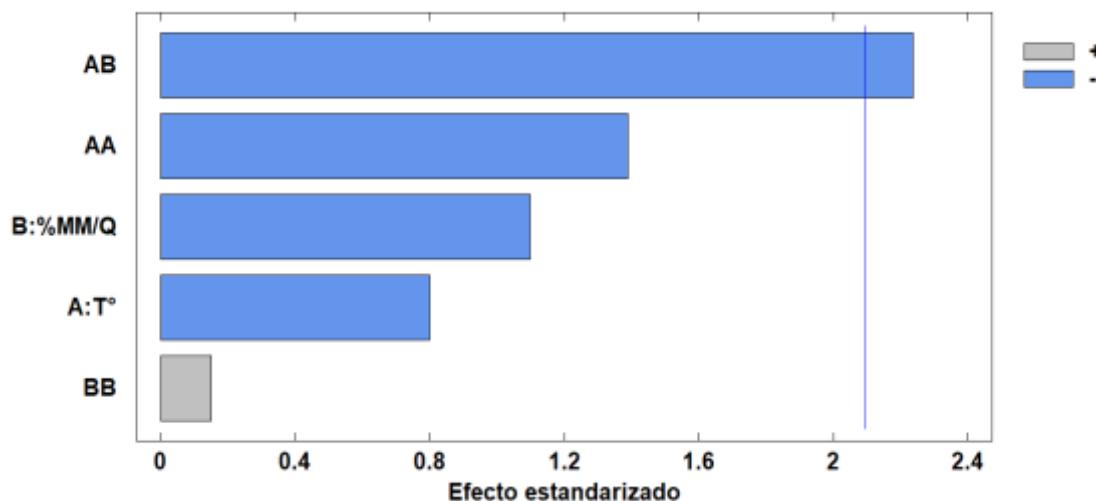
El efecto del almidón del maíz morado es el principal responsable de la expansión del snack. Por ello, la proporción de almidón frente a otros componentes como la quinua es crucial para obtener la textura deseada. La cantidad de maíz morado en la formulación tiene un efecto directo en las características físicas. En estudios, se ha demostrado que la proporción de maíz morado, quinua y otros ingredientes influye significativamente en la densidad y, por ende, en la textura y el crujido final (Martinez, 2022).

En nuestra investigación se observó una mayor dureza de (74.30%) en snacks con formulaciones de 70% harina de maíz morado y 30% harina de quinua, del mismo modo se observó una menor dureza de (41.86%) en snacks con formulaciones de 70% maíz morado y 30% quinua). Con ello se demuestra que no solo las formulaciones de (harina de maiz morado/harina de quinua) influyen en la textura del snack, sino también las altas temperaturas de extrusión pueden modificar la estructura de estas proteínas, aumentando su solubilidad y digestibilidad. Esta interacción puede influir en la textura final, ya que las proteínas también contribuyen a la estructura de la matriz del snack, otros parámetros del proceso de extrusión también afectan la dureza, como por ejemplo un menor contenido de humedad en la mezcla de harinas tiende a reducir la dureza del producto, mientras que un mayor contenido la aumenta, la velocidad del tornillo del extrusor puede afectar la energía mecánica, el grado de cocción y, por ende, la textura final (Almeida y Rooney, 2021).

En la figura 31 se presenta el gráfico con efecto estandarizado para dureza en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Figura 31

Gráfico con efecto estandarizado para dureza en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

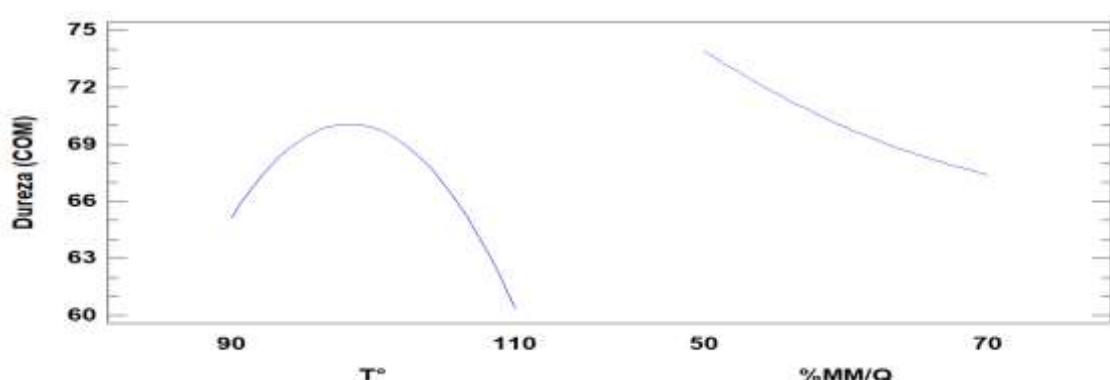


Nota. En la figura se observa que únicamente la interacción de factores: “AB” (temperatura de extrusión*harina de maíz morado/harina de quinua) tuvo significancia estadística.

En la figura 32 se presenta el gráfico de efectos principales para dureza en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Figura 32

Gráfico de efectos principales para dureza en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua



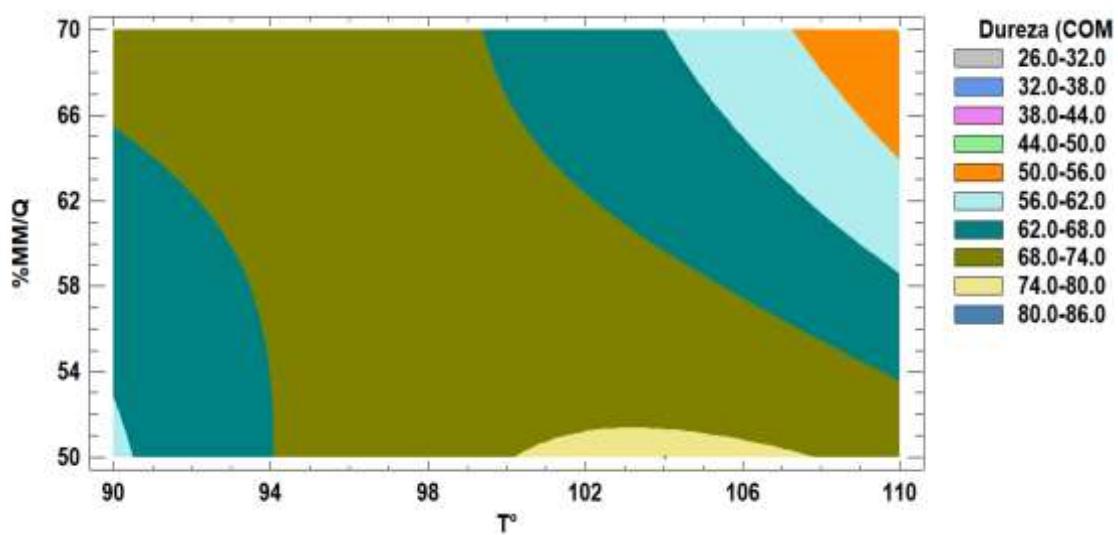
Nota. En la figura se observa que a temperaturas bajas de extrusión (90°C) se obtiene una dureza alta (65gf), a temperaturas de extrusión altas (110°C) se obtiene una

dureza baja (60.5gf). A formulaciones de (50% harina de maíz morado/50% harina de quinua) se obtiene una dureza alta (74gf) y a formulaciones de (70% harina de maiz morado/30% harina de quinua) se obtiene una dureza baja (66.5gf).

En la figura 33 se presenta el gráfico de superficie de respuesta para dureza en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Figura 33

Gráfico de superficie de respuesta para dureza en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

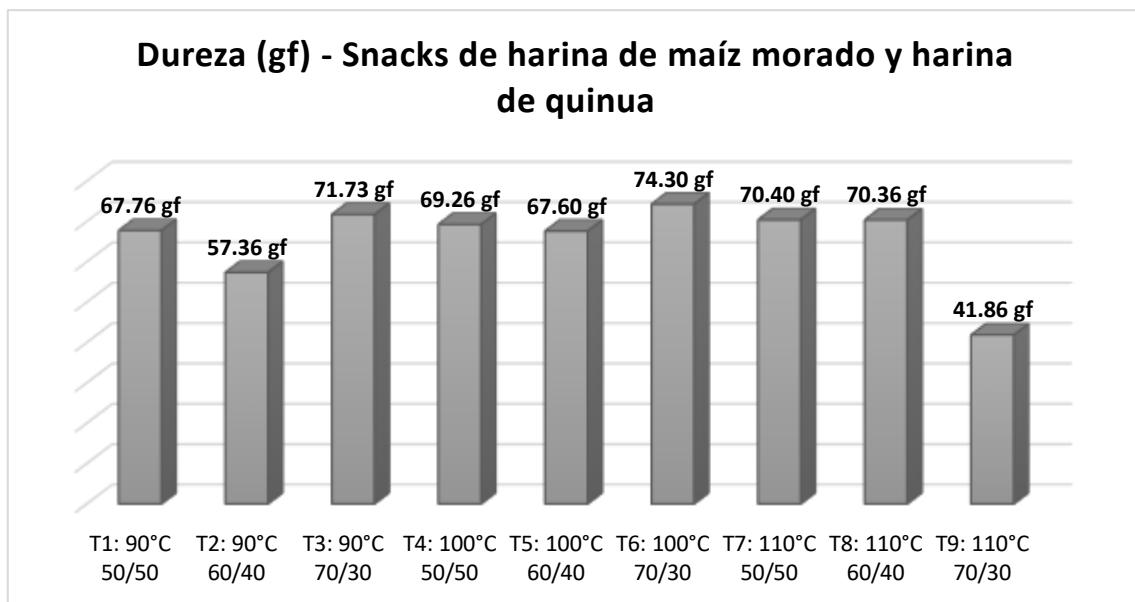


Nota. En la figura se obtiene valores de dureza bajos comprendidos entre (50gf - 56gf) utilizando temperaturas de extrusión altas (110°C) y formulaciones de (50% harina de maíz morado/50% harina de quinua); y se obtiene valores de dureza altos entre (74gf a 80gf) utilizando temperaturas de extrusión bajas (102 °C y 106 °C) y formulaciones de (70 % harina de maíz morado/30 % harina de quinua).

En la figura 34 se presentan los promedios de dureza en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Figura 34

Promedios de dureza (gf) en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua



Nota. En la figura se observa una mayor dureza (74.3gf) en “T6” en snacks extruídos a 100°C con formulaciones de 70% harina de maíz morado/30% de harina de quinua; y también se observa una menor dureza (41.86gf) en “T9” en snacks extruídos a 110°C con formulaciones de 70% harina de maíz morado y 30% de harina de quinua.

Las formulaciones de 70% de harina de maíz morado y 30% de harina de quinua, presentaron los valores más altos de dureza, mostrando una estructura más compacta y firme, esto se asocia con el alto contenido proteico de la quinua, que favorece una mayor cohesión en la matriz del producto (Graziano et al., 2022), se observa también que con formulaciones de 70% harina de maíz morado y 30% harina de quinua mostraron dureza más baja, una textura más porosa y ligera, debido al efecto expansivo del almidón de maíz morado durante la extrusión (Gumul et al., 2023). Se observó que a 100 °C los productos tienden a ser más duros, y a temperaturas de 110°C los productos tienden a ser más suaves, debido a una gelatinización más limitada del almidón que favorece la expansión. Con formulaciones de 60% de harina de maíz morado y 40% de harina de quinua y temperaturas de (90°C, 100°C y 110°C) mostraron un incrementos leves y moderados de dureza, posiblemente por una menor desnaturización proteica y fortalecimiento de la matriz estructural, que fue uniforme en algunos casos y en otros no fue uniforme.

4.2.2. Fracturabilidad (gf) en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

En la tabla 14 se presentan los promedios para fracturabilidad (gf) en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Tabla 14

Promedios de fracturabilidad (gf) en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN (°C)	FORMULACIONES DE:		FRACTURABILIDAD (gf)
		HARINA DE MAÍZ	MORADO/HARINA DE QUINUA (%)	
T ₁	90°C	50%/50%		10.67 gf
T ₂	90°C	60%/40%		13.74 gf
T ₃	90°C	70%/30%		23.65 gf
T ₄	100°C	50%/50%		19.78 gf
T ₅	100°C	60%/40%		18.18 gf
T ₆	100°C	70%/30%		17.48 gf
T ₇	110°C	50%/50%		17.13 gf
T ₈	110°C	60%/40%		12.21 gf
T ₉	110°C	70%/30%		13.95 gf

Nota. En la tabla se observa una mayor fracturabilidad (23.65gf) en “T3” a temperaturas de extrusión de 90°C y formulaciones de harina de maíz morado/harina de quinua (70%/30%); y también una menor fracturabilidad (10.67gf) en “T1” a temperaturas de extrusión de 90°C y formulaciones de harina de maíz morado/harina de quinua (50%/50%).

En la tabla 15 se presentan los resultados de análisis de varianza para fracturabilidad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Tabla 15

Análisis de varianza para fracturabilidad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura de extrusión	1.14242E7	1	1.14242E7	0.67	0.4237
B: Harina maíz morado/Harina quinua	2.80476E7	1	2.80476E7	1.64	0.2156
AB: T°extrusión*HMM/HQ	1.95803E8	1	1.95803E8	11.46	0.0031
Bloques	8.09131E7	2	4.04565E7	2.37	0.1208
Error total	3.24724E8	19	1.70907E7		
Total (corr.)	7.39108E8	26			

Nota. En la tabla se muestra el análisis de varianza (ANOVA) para fracturabilidad, se observa que la interacción de los factores AB (temperatura de extrusión*formulaciones de harina de maíz morado/harina de quinua) fue significativo ($p < 0.05$) es decir que ambos factores están asociados o correlacionados.

La temperatura de extrusión afecta la densidad aparente del producto, que está directamente relacionada con la fracturabilidad. A temperaturas más altas de extrusión, la gelatinización es más completa, junto con un menor contenido de humedad puede resultar en una mayor expansión, una menor densidad aparente, lo que aumenta la fracturabilidad. En este caso nuestros resultados fueron diferentes ya que aplicando temperaturas bajas de 90°C se obtuvo una mayor fracturabilidad de (23.65gf) favoreciendo una textura más porosa, más crujiente y más frágil (Zamorano, Guzmán y Ibáñez, 2020).

Se produce una gelatinización incompleta a temperaturas de extrusión más bajas puede generar una estructura más densa, lo que se traduce en una textura más dura, tal y como puede observarse en los resultados de nuestra investigación que a una temperatura de 90°C se obtiene una fracturabilidad de (10.67gf) debido a que el calor elevado puede romper las cadenas de almidón, modificando su cristalinidad y creando una estructura celular más uniforme que mejora la fracturabilidad. La matriz proteica y de fibra de la quinua también se ve afectada, lo que puede influir en la resistencia a la fractura. La temperatura de extrusión interactúa con el contenido de humedad de la mezcla (Galindo, 2018).

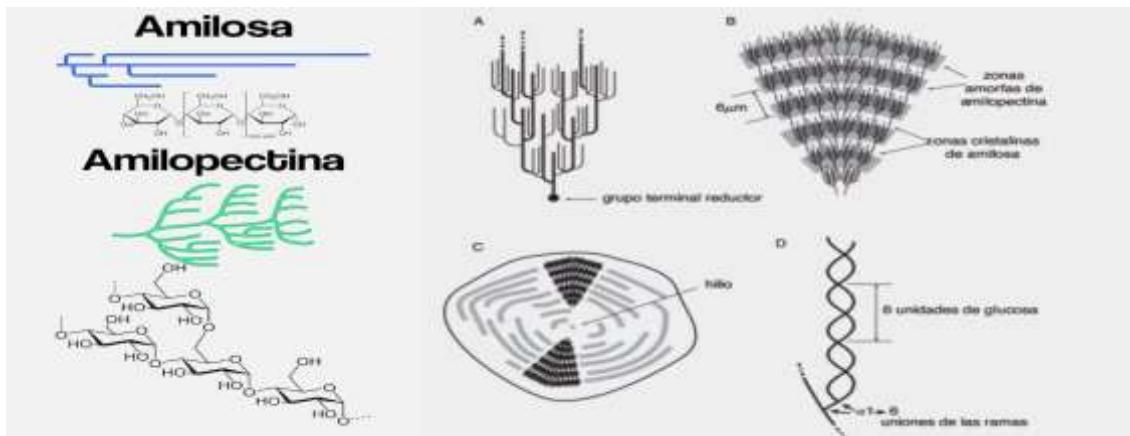
Las formulaciones de harina de maíz morado y harina de quinua influyen directamente en la fracturabilidad de los snacks extruidos. Por ejemplo el maíz morado rico en antocianinas y destacado por su alto contenido de almidón, es fundamental para las propiedades de expansión durante la extrusión, su estructura contribuye a la formación de una matriz vítreo y porosa que, al enfriarse, se vuelve rígida y quebradiza, siendo clave para lograr la textura crocante deseada en los snacks. A diferencia del maíz morado, la quinua es rica en proteínas y fibra, que afectan la estructura del producto extruido de varias maneras, como por ejemplo la proteína de la quinua puede interferir en la gelatinización del almidón, formando una red más densa y rígida, su alto contenido de fibra puede reducir la expansión del producto y aumentar la densidad, resultando en un snack más duro y menos frágil, la adición de fibra también puede reducir el valor de dureza (fracturabilidad) o la cohesividad, según la concentración y las condiciones del proceso (Brennan, Derbyshire y Tiwari, 2021).

La relación entre harina de maíz morado y harina de quinua es el factor determinante para equilibrar la textura del snack. El mayor porcentaje de quinua aumenta el contenido de proteínas y fibra, lo que puede resultar en un snack más duro, menos expandido y con mayor densidad. El mayor porcentaje de maíz morado proporciona mayor expansión y una textura más crujiente y porosa, tal y como es el caso de los resultados de nuestra investigación donde aplicando 70% de harina de maíz morado y 30% de harina de quinua se obtuvo una mayor fracturabilidad de (23.65gf). De otro lado al aplicar las mezclas equilibradas de maíz morado y quinua como lo es aplicar igual proporción de ambos es decir 50% de harina de maíz morado y 50% de harina de quinua se obtuvo una menor fracturabilidad de (10.67gf) resultando un equilibrio óptimo de fracturabilidad, densidad y la aceptabilidad del producto (Guy, 2021).

A continuación, en la figura 35 se esquematiza la representación de la amilosa, la amilopectina y el gránulo de almidón:

Figura 35

Representación de la amilosa, la amilopectina y el gránulo de almidón



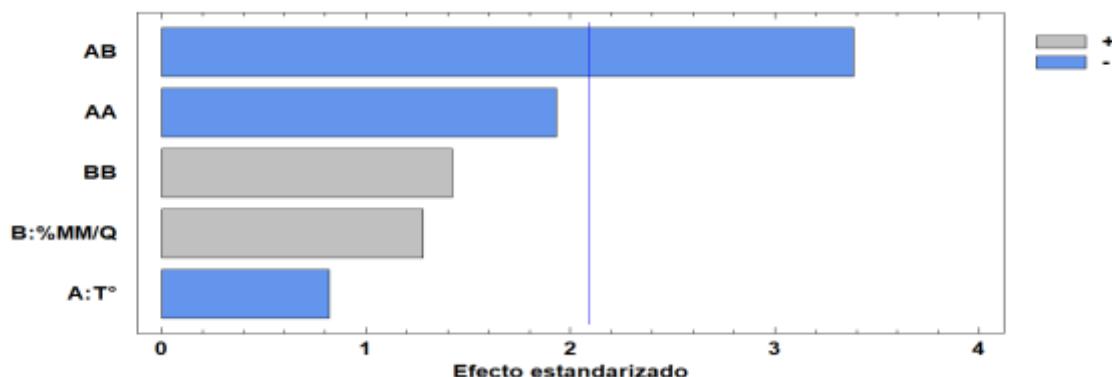
Nota. En la figura se observa la representación de la amilosa, la amilopectina y el gránulo de almidón. donde: a) Estructura de la amilopectina. b) La organización de las regiones amorfía y cristalina que genera las capas concéntricas y de los anillos que se observan al microscopio, c) La orientación de la amilopectina en un corte seccional del gránulo y d) La doble hélice de glucosa que da origen a la cristalinidad del gránulo.

La quinua posee un nivel de almidón entre 50% al 60% (20% amilosa y 80% amilopectina) por otro lado el maíz morado tiene un 80% de almidón, ello esta constituido por (30% amilosa y 70 % amilopectina). Debido a la amilopectina constituye el 70 %, su estructura ramificada hace al snack sea más esponjoso. Lo cual favorece a la fracturabilidad haciendo que la dureza disminuya, lo que indica que los gránulos de almidón de maíz con alto contenido de amilosa mostraron una alta resistencia a la gelatinización (Campos, Rodríguez, Acosta, Paucar y Menacho, 2022).

En la figura 36 se presenta el gráfico de efecto estandarizado para fracturabilidad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Figura 36

Gráfico con efecto estandarizado para fracturabilidad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

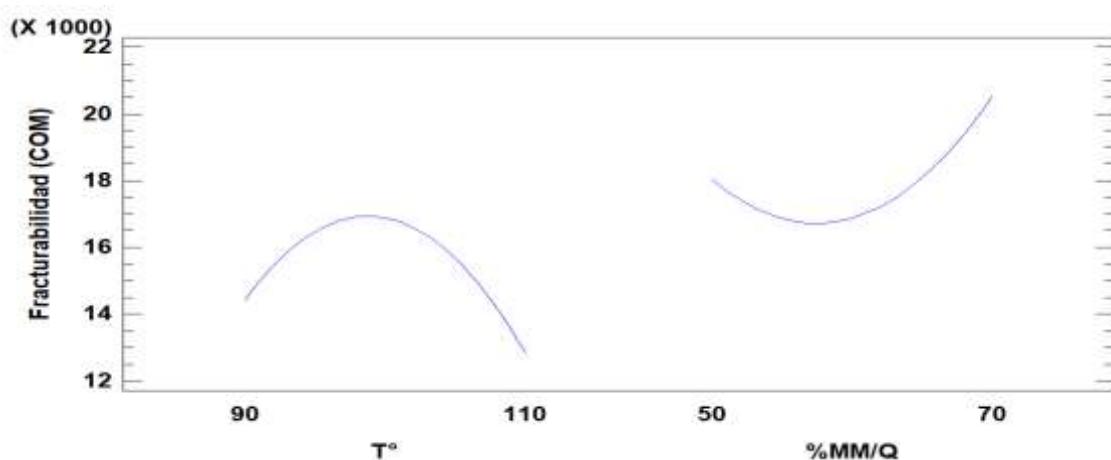


Nota. En la figura se observa significancia estadística en la interacción de factores: “AB” (temperatura de extrusion*formulaciones harina de maíz morado/harina de quinua). Y no se observó significancia estadística de manera individual en el factor “A” (temperatura de extrusion) ni en el factor: “B” (formulaciones harina de maiz morado/harina de quinua).

En la figura 37 se presenta el gráfico de efectos principales para fracturabilidad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Figura 37

Gráfico de efectos principales para fracturabilidad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua



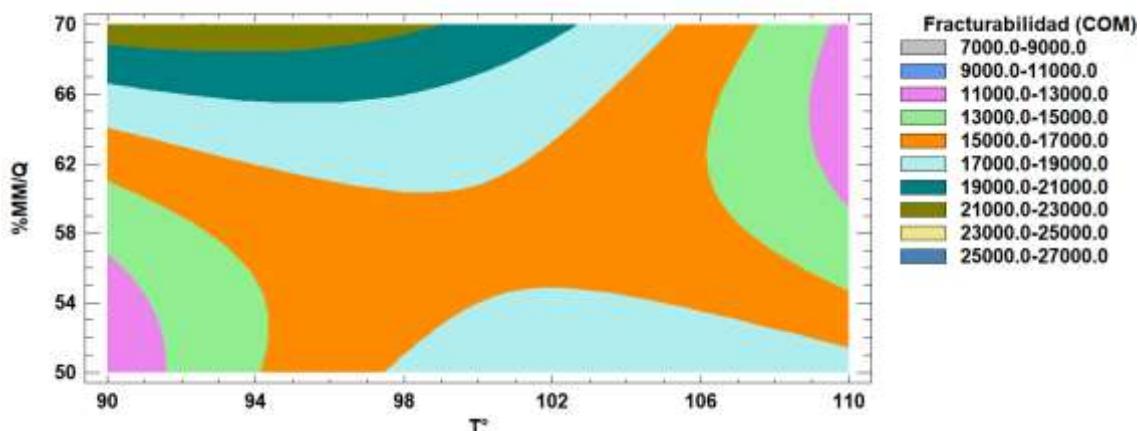
Nota. En la figura se observa que a temperaturas bajas (90 °C) se obtiene una fracturabilidad alta (14gf); y a temperaturas altas (110 °C) se obtiene una fracturabilidad baja (13gf). A formulaciones (50 % harina de maíz morado/50 % harina de quinua) se

obtiene una fracturabilidad de (18gf) y a formulaciones (70% harina de maíz morado/30% de harina de quinua) se obtiene una fracturabilidad de (21gf).

En la figura 38 se presenta el gráfico de superficie de respuesta para fracturabilidad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Figura 38

Gráfico de superficie de respuesta para fracturabilidad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

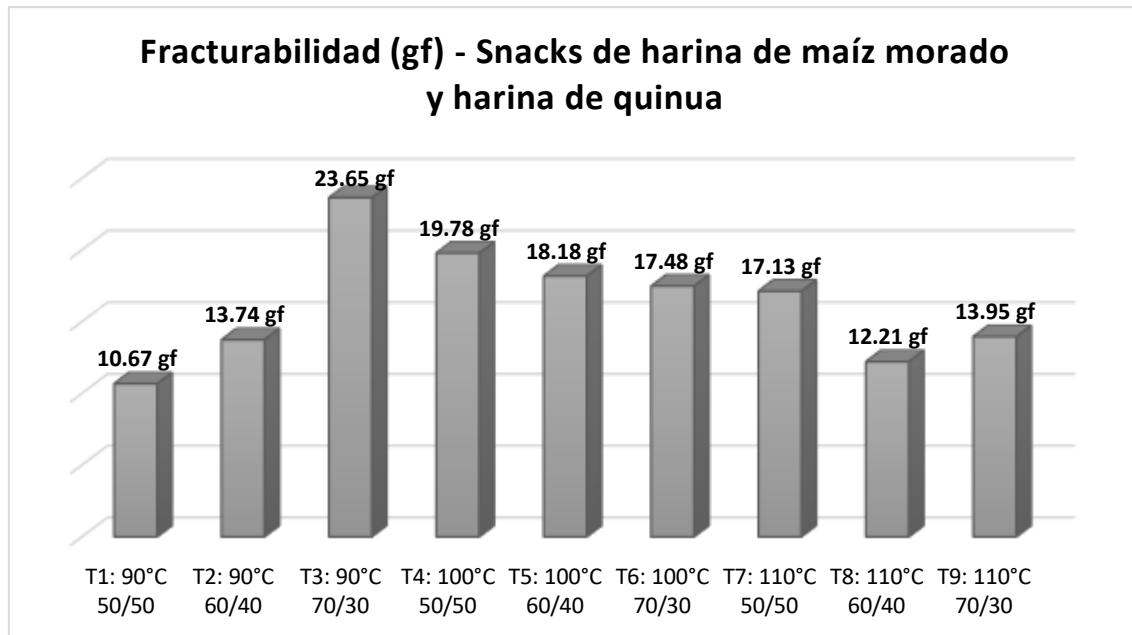


Nota. En la figura se obtiene valores de fracturabilidad entre (11gf – 13gf) a temperaturas altas (110°C) y formulaciones de (50% harina de maíz morado/50% harina de quinua); y se obtiene valores de fracturabilidad entre (21gf – 23gf) a temperaturas bajas (90°C, 94°C y 98°C) y formulaciones de (70% harina de maíz morado/30% harina de quinua).

En la figura 39 se presentan los promedios de fracturabilidad en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua:

Figura 39

Promedios de fracturabilidad (gf) en 9 muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua



Nota. En la figura se observa una mayor fracturabilidad (23.65gf) en “T3” a temperaturas de extrusión de 90°C y formulaciones de harina de maíz morado/harina de quinua (70%/30%); y una menor fracturabilidad (10.67gf) en “T1” a temperaturas de extrusión de 90°C y formulaciones de harina de maíz morado/harina de quinua (50%/50%).

Los resultados obtenidos sobre el trabajo total en snacks extruidos a partir de mezclas de harina de maíz morado y harina de quinua permiten comprender cómo la formulación y la temperatura de extrusión influyen directamente en la textura (fracturabilidad) del producto final. Este parámetro, que representa la energía necesaria para comprimir y fracturar el snack de harina de maíz morado y harina de quinua, reflejando aspectos como la firmeza, cohesión y porosidad de su estructura. Su comportamiento varía en función de la proporción de ingredientes y las condiciones térmicas aplicadas durante el proceso.

Es por ello que se resalta que las formulaciones de harina de maíz morado /harina de quinua (70%/30%) registraron valores significativamente más altos de trabajo total,

evidenciando una textura más firme y densa, posiblemente debido a la presencia de proteínas y fibras presentes en la quinua que limitan la expansión del producto. Caso contrario ocurre con las formulaciones harina de maíz morado / harina de quinua de (50%/50%) y formulaciones de harina de maíz morado / harina de quinua (60%/40%) mostraron menores valores de trabajo total, lo que indica una textura más aireada y menos compacta, este efecto se atribuye a la gelatinización y expansión del almidón del maíz morado, que favorece la formación de una matriz porosa (Barallat, 2021).

La temperatura también desempeña un papel importante en este comportamiento. A temperaturas bajas (90 °C y 100°C) varias formulaciones mostraron una disminución en el trabajo total, lo que se asocia con una mayor expansión y porosidad de la estructura y una menor resistencia a fractura. Sin embargo, al aumentar la temperatura a 110 °C, se observó un incremento en el trabajo total, debido a la mayor compactación de la matriz y a la desnaturalización de proteínas que contribuyen a una mayor resistencia a la fractura según indica en su investigación (Barallat, 2021).

La humedad final en el producto será el responsable de una incidencia en la textura del snack ya que afecta directamente a su comportamiento reológico, provocando que estos snacks sean más o menos crujientes, lo cual resulta un factor determinante en la aceptabilidad del consumidor, es decir que se busca lograr una textura ideal para un snack extruido de maíz morado y quinua, el cual debe ser crujiente y ligeramente masticable. La extrusión busca crear una textura porosa y aireada, pero es importante que el producto final no sea demasiado duro ni se deshaga fácilmente. Un buen equilibrio entre crocancia y mordida es deseable para una experiencia sensorial agradable citado por (Barallat, 2021),

CAPÍTULO V

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El mayor contenido de humedad fue 9.73 % en T6 extruído a (100°C) con (70% harina de maíz morado / 30% harina de quinua). Y el menor contenido de humedad fue 7.97 % en T8 extruído a (110°C) con (60% harina de maíz morado /40% harina de quinua).
- La mayor dureza fue 74.3gf en T6 extruído a (100°C) con (70% harina de maíz morado / 30% harina de quinua), la menor dureza fue 41.86gf en T9 extruído a (110°C) con (70% harina de maíz morado / 30% harina de quinua). La mayor fracturabilidad fue 23.65gf en T3 extruído a (90°C) con (70% harina de maíz morado / 30% harina de quinua) y la menor fracturabilidad fue 10.67gf en T1 extruído a (90°C) con (50% harina de maíz morado / 50% harina de quinua).

5.2. Recomendaciones

- Realizar un análisis de textura, específicamente del crujido, utilizando un analizador de textura con software e incorporando un micrófono digital (sensor de sonido) con las especificaciones mencionadas para capturar la señal acústica durante la prueba de corte.
- Realizar un análisis de índice de expansión en relación al diámetro del extruído y al diámetro del troquel y un análisis de porosidad mediante imágenes de la estructura celular de los snacks de maíz morado y quinua.
- Mediante el método de espectrofotometría cuantificar la cantidad total de antocianinas presentes en el snack de maíz morado y quinua para así determinar la capacidad antioxidante del mismo.
- Utilizar cereales andinos diferentes a la quinua para la elaboración de snacks a base de maíz morado, empleando nuevas formulaciones, temperaturas de extrusión y comparar los valores de humedad y de textura instrumental (dureza y fracturabilidad) con los resultados obtenidos en nuestra investigación.

CAPÍTULO VI

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, D. y Calderón, Y. (2021). “*Elaboración de una mezcla alimenticia extruida a base de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), arroz (*Oriza sativa*) y frijol gandul (*Canajuscajan*) saborizado con harina de lúcumo*”. Universidad Pedro Ruiz Gallo – Chiclayo – Perú.
- Almeida, H. y Rooney, L. (2021). “*Avances en la manufactura y calidad de los productos de maíz nixtamalizado. In: Excelencia en calidad de tortillas y botanas de maíz y trigo. Asociación americana de soya*” United Soybean Board - (México), pp. 14-19.
- Apró, N. Rodriguez, J. y Gornatti, C. (2020). “*La extrusión como tecnología flexible de procesamiento de alimentos*”. Jornadas de Desarrollo e innovación.
- Araujo, M. (2020). “*Estudio de la extracción del colorante de maíz morado (*Zea mays* L.) con el uso de enzimas*” Tesis para optar el grado de Magister Sc en Tecnología de Alimentos. Lima – Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponible en:<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=CEDIIA.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000443>.
- Arriola, E. Gudiño, D. Prado, R. y Mondragón, Pedro M. Corona, Rosa Isela, Guatemala, Guadalupe. y Braz. J. (2020). “*Estudio de los parámetros de freído sobre las propiedades fisicoquímicas de una botana hecha de harinas de maíz, chicharo y salvado de avena*” Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.29718>
- Barallat, I. (2021). “*Harinas extruidas en la industria alimentaria*”. Universidad Complutense. Madrid - España. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/15335/1/TUCSG-PRE-ESP-MD-CM-228.pdf>
- Billeb De Sinibaldi, A. y Bressani, Ricardo. (2021). “*Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz*”. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222001000100012&lng=es&tlang=e

Brennan, C., Brennan, M. Derbyshire, E. y Tiwari, B. (2021). “*Effects of extrusion on polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods*”. Trends in food science and technology, 570-575.

Campos, J. Rodríguez, L. Acosta, C. Paucar, L y Menacho, L. (2022). “*Quinua (Chenopodium quinoa): Composición nutricional y Componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación*”. Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de Trujillo.

Cabarcas, E., Guerra, A. y Henao, C. (2019). “*Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción*”. [Tesis de grado para optar el título de ingeniero químico]. Fac de Ingeniería Química: Universidad de Cartagena. Pp. 90

Cadena, C. (2021). “*Elaboración de un snack extruido expandido a base de chocho y gritz de maíz*”. Quito.

Cisneros. K. (2022). “*Curso de Extrusión*”. Perú. Universidad Privada San Ignacio de Loyola.

Colonna, P. Tayeb, J. y Mercier, C. (2022). “*Extrusion cooking of starch and starchy products. In: Extrusion cooking*”. American Association of Cereal Chemists, 247-319.

Contreras, B. Morales, E. Reyes, M. y Gaytán, M. (2022). “*Efecto de la temperatura sobre las propiedades funcionales de la harina de maíz obtenidas por el método de extrusión comparada con la obtenida en el proceso de nixtamalización tradicional*”. Lima – Perú.

Costa, R. y Oliveira, F. (2019). “*Modelling the kinetics of water loss during potato frying with a compartmental dynamic model*”. Journal of Food Engineering, Pp. 41, 177-185.

Ching, S. Ingram, D. Hahnel, R. y Rossi, E. (2022) “*Los niveles séricos de micronutrientes, antioxidantes y el estado antioxidante total predecir el riesgo de cáncer de mama en un estudio de casos y controles*”. Diario de nutrición. 303-306 p.

Delgado, E. (2022). “*Ensayos sobre el uso de micro encapsulantes en el secado por atomización de concentrado de maíz morado (Zea mays L.)*”. Tesis Ing. en Industrias Alimentarias. UNALM. Lima-Perú. 150 p.

De la cruz, F. Quenán, D. Castro, R. y Naspirán. J. (2024). “*Desarrollo de un producto snack a base de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y maíz (Zea mays L.)*”. Universidad de Nariño – San Juan de Pasto – Colombia.

De La Ossa, Y. y Rivera, C. (2019). “*Análisis comparativo del perfil de textura en alimentos*”. Tesis Ing. Colombia, Universidad de Cartagena.

Ding, Q. Ainsworth, P. Plunkett, A. Tucker, G. y Marson, H. (2022). “*The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice base expanded snacks*”. Journal of food engineering, 283-289.

Durak, L. Kacmaz, M. Cimen, M. Buyukkock, U. y Ozturk, H. (2021). “*Oxidante de sangre/el estado antioxidante de las pacientes arterioscleróticas, diario de la cardiología*”. 293-297 p.

Escalante, A. Ramirez Wong, B. Torres, P. Figueroa, J. Lopez, J. Barron, M. y Morales, L. (2022). “*Effect of extrusion processing parameters on anthocyanin content and physicochemical properties of nixtamalized blue corn expanded extrudates*”. CyTA - Journal of Food, 29-37.

FAO. (2022). “*Contenido en aminoácidos de los alimentos y datos biológicos sobre las proteínas*”. Dirección de Nutrición, Servicio de Ciencia y Política de la Alimentación. Roma. 285 p. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/AC854T/AC854T00.htm>

Fernández, N. (2021). “*Estudio de la extracción y pre - purificación de antocianinas de maíz morado (Zea mays L.)*”. Tesis Ing. En Industrias Alimentarias. UNALM. Lima – Perú. 116 p.

Fernandez, J. (2021). “*Estudio de la interacción de los biopolímeros caseína y almidón por el proceso de extrusión*”.

Fellows, P. (2022). “*Tecnología del procesado de los alimentos*”. Principios y prácticas. Zaragoza, España, Acribia.

Galindo, P. (2018) “*Nivel de aceptabilidad sensorial de extruidos de quinua con maíz morado como una alternativa de alimentación saludable*”. Universidad Agraria La Molina. Lima – Perú.

Gálvez, R., Christopher, A., Sarkar, D., Shetty, K., Chirinos, R. y Campos, D. (2022). “*Phenolic composition and evaluation of the antimicrobial activity of free and bound phenolic fractions from a peruvian purple corn (Zea Mays L.)*” accession. Journal of Food Science, 82(12), 2968-2976. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13973>.

García. (2021). “*Revisión de aplicaciones de extrusión*”

Gomez, H. y Aguilera, M. (2023). “*Changes in the starch fraction during extrusion cooking of corn*”. Journal of Food Sci., 378 - 381.

González, J. y Sánchez, D. y Lavado, A. (2025). “*Harina germinadas de Maíz morado y Quinua andina para la producción de cereales extruidos: propiedades tecnológicas y aceptación sensorial*”. Revista de Ciencias Agrícolas. Universidad Altoandina de Tarma.

González, R. Torres, R. y De greef, L. (2022). “*Extrusión y cocción de cereales*”. Boletín da sociedade brasileira de ciencia e tec de alimentos (sbCTA), Campinas 36 (2): 83-136.

Gottau, G. (2022). “*La quinoa en todas sus formas*”. Disponible en: <https://www.vitonica.com/alimentos/grano-entero-inflada-en-harinatodas-las-versiones-que-puedes-encontrar-de-la-quinoa-a-tu-alcance>.

Guillén, J. Sánchez, S. Mori, L y Paucar, M. (2024). “*Características y propiedades funcionales del maíz morado (Zea mays L.) var. subnigroviolaceo*”. Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de Trujillo.

Gumul, D. Berski, W. y Zięba, T. (2023). “*The influence of fruit pomaces on nutritional, pro-health value and quality of extruded gluten-free snacks*”. Applied Sciences, 13(8), 4818.

Guy, R. (2021). “*Extrusión en la industria alimenatria: Tecnología y aplicaciones*”. España: Editorial Acribia S.A.

Guy, R. (2021). “*Extrusion cooking: technologies and applications*”. Cambridge, United Kingdom: Woodhead Publishing.

Guy, R. y Ribas, A. (2022). “*Extrusión de Alimentos: Tecnología y Aplicaciones*”: Acribia.

Graziano, S. Agrimonti, C. Marmiroli, N. y Gullì, M. (2022). “*Utilisation and limitations of pseudocereals (quinoa, amaranth, and buckwheat) in food production*”: A review. Trends in Food Science y Technology, 125, 154-165.

Harper, J. (2021). “*Food extruder and their applications, in “Extrusion Cooking”*”. St. Paul MN, USA, American Associates Cereal Chemical.

Harper, K. (2024). “*Extrusion processing of starch. In: Developments in carbohydrate chemistry*”. American Association of Cereal Chemists, 37-64.

Hernández, A. (2019). “*Evaluación sensorial*”. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

Huber, G. (2021). “*Developments and Trends in Extruded Snacks*”

IEPARC. (2016). “*Incremento de los ingresos económicos de los Productores Agrarios en la Región Cajamarca*”. Guía de la Producción de Maíz Morado. Cajamarca, Perú. Editorial Martínez Compañón Pp. 31.

INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria, PE). (2017). “*Boletín informativo Maíz INIA 615 Negro Canaán*”. Dirección de Investigación Agraria. Sub Dirección de Investigación de Cultivos, Programa Nacional de Investigación en Maíz.

Jangam, S. Law, C. y Mujumdar, A. (2021). “*Drying of Foods, Vegetables and Fruits*”, Volume 2. ISBN: 978-981-08-7985-3.

- Jagbir, H. Rehal, K. Gagan, N. Kaur, G. Amarjeet, Y. Kaur, D. y Singh, P. (2022). “Evaluación Comparativa de Diferentes Atributos de los Snacks Extruidos Existentes”. Journal of Krishi Vigyan. https://www.researchgate.net/publication/314262589_Comparative_Evaluation_of_Different_Attributes_of_the_Existing_Extruded_Snacks
- Joseph, J. Arendas, G. y Gordon, M. (2023). “La administración de suplementos de arándanos mejora la señalización y evita anomalías de comportamiento en un modelo de la enfermedad de Alzheimer neurociencia”. 153-162 p.
- Kent, N. (2023). “Tecnología de cereales”. España: Acribia
- Kraft, T. (2018). “Composición fitoquímica y la actividad metabólica de máximo rendimiento de las bayas de la dieta”. Diario de la agricultura y química de los alimentos. 654- 660 p.
- Laguna, P. Cáceres, Z. y Carimentrand, A. (2022). “Del altiplano sur boliviano hasta el mercado global: Coordinación y estructuras de gobernanza en la cadena de valores de la quinua orgánica y del comercio justo”. Rev. Agroalimentaria. no. 22: 65-76.
- Larrea, M. Chang, Y. y Bustos, F. (2021). “Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp”. Food Chemistry, 301-308.
- Lavado, A. (2022). “Desarrollo de un extruido saludable a partir de harinas de quinua y cañihua germinadas con adición de maíz”. Facultad de Ingemiería - Universidad del Santa – Bolivia.
- López, L. Oliart, R. Valerio, G. Lee, C. Parkin, K. y García, H. (2021). “Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize”. LWT-Food Science and Technology, 42(6), 1187-1192. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.10.010>
- Lu, R. (2023). “Principles of solid food texture analysis. In Instrumental Assessment of Food Sensory Quality” (pp. 103–128). <https://doi.org/10.1533/9780857098856.1.103>.

Luna, J. y Sánchez, J. (2021). “*El grano que construyó un hemisferio*”. National Geographic. Pp. 2-21.

Manrique, A. (2019). “*El maíz en el Perú. Consejo nacional de ciencia y tecnología (CONCYTEC)*”. Lima, Perú. 362 p.

Manrique, A. (2019). “*El maíz morado peruano (Zea mays L.)*” INIA-folleto N° 2-99 Lima - Perú. 24 p.

Martinez. (2022). “*Desarrollo de alimentos precocidos por extrusion a base de maíz y leguminosas*”.

Mataix, J. (2022). “*Nutrición y Alimentación Humana: Nutrientes y Alimentos*”. Barcelona: Oceano.

Meyhuay, M. (2023). “*Quinua: Operaciones de Postcosecha*” (en línea). s.n.t. 36 p.
Disponible en <http://www.fao.org/3/a-ar364s.pdf>.

Mora, R. Gutierrez, U. Serna, S. Sanchez, P. Reyes, M. y Milan, C. (2021). “*Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking*”. Journal of Cereal Science, 502-508.

Mujica, A. y Jacobsen, S. (2022). “*La quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y sus parientes silvestres*”. Rev. Botánica Económica de los Andes Centrales. La Paz: Univ. Mayor de San Andrés: Pp. 449 - 457. Disponible en <http://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdf/Capitulo%2027.pdf>

Muñoz, A. (2023). “*Año internacional de la quinua*”. Rev. de la sociedad química del Perú. 79 (1): 1-2.

Naigua, D. y González, M. (2023). “*Elaboración de un snack de harina de maíz morado nixtamalizado con adición de harina de quinua*”. Escuela superior politécnica de Chimborazo facultad de ciencias pecuarias carrera agroindustria. Riobamba – Ecuador.

Narvaez, M. (2021). “*Estudio de la comparación de mezclas de diferentes materias primas*”.

Noriega, P. (2021). “*Manual de proceso de los alimentos*”.

Olalla, W. (2019). “*Desarrollo tecnológico para la elaboración de snacks de maíz (*Zea mays L.*), quinua (*Chenopodium quinoa*) y haba (*Vicia faba*) nixtamalizados*”. Universidad técnica de ambato facultad de ciencia e ingeniería en alimentos y biotecnología carrera ingeniería en alimentos. Ambato – Ecuador.

Olsson, E. Gustavsson, K. y Duan, R. (2022). “*La inhibición de la proliferación de células cancerosas in vitro por extractos y correlaciones con los niveles de antioxidantes*”. Diario de la química agrícola y alimentaria. 7264-7271 p.

Oscanoa, C. y Sevilla, R. (2021). “*Razas de maíz en la sierra central del Perú*”, Junín, Huancavelica y ayacucho.472 p.

Paula, A. y Conti, A. (2021). “*Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. Journal of Food Engineering*”, 121, 9–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.007>.

Pantoja, J. Sánchez, S. y Hoyos, J. (2021). “*Obtención de un alimento extruido para tilapia roja (*oreochromis spp*) utilizando ensilaje biológico de pescado*”. Popayán, COL. Revista biotecnolo

Parodi, L. (2021). “*Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*”. Editorial ACME Buenos Aires Vol. II: 553-589.

Pathania, S. Singh, B. Sharma, S. Sharma, V. y Singla, S. (2023). “*Optimization of extrusion processing conditions for preparation of an instant grain base for use in weaning foods*”. International Journal of Engineering Research and Applications, 3(3), 1040-1049.

Pérez, O. (2022). “*Tecnología de alimentos extruidos*”. La Habana - Cuba.

Pérez, C. Betancur, D. Casotto, A. y Tovar, J. (2021). “*Efecto de la extrusión sobre la biodisponibilidad de proteína y almidón en mezclas de harinas de maíz y frijol lima*”. Caracas, VEN. Archivos latinoamericanos de nutrición. Vol. 57, Nº 3. Pág. 278.

Peryam, D y Pilgrim, F. (2021). “*Hedonic scale method of measuring food preferences*”. American Psychological Association. Revista APA PsycNET vol. 11 no. 1 p. 9-14.

Pinedo, R. (2021). “*Niveles de fertilización en dos variedades de maíz morado (*Zea mays L.*) en la localidad de Canaán – Ayacucho*”. Tesis para optar el grado de Magister Sciantiae en Producción Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. 106 p.

Piyapanrungrueang, W. Chantrapornchai, W. Haruthaithasan, V., Sukatta, U. y Aekatasanawan, C. (2022). “*Comparison of anthocyanin extraction methods from high anthocyanin purple corn cob hybrid: KPSC 901, and quality of the extract powder*”. Journal of Food Processing y Preservation, 40(5), 1125-1133. Recuperado de Processing & Preservation, 40(5), 1125-1133.

Ramos, L. (2022). “*Aspectos tecnológicos para la extrusión de cereales andinos*”. Monografía. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.

Ramírez, J. (2023). “*Preguntas y Respuestas sobre Extrusión Termoplástica de Alimentos. Un Abordaje Simplificado*”. Editorial – Atena. Ponta Grossa – Paraná – Brasil.

Repo, R. Pilco, J. y Encina, Ch. (2021). “*Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) y maíz (*Zea mays L.*)*”. Ingeniería Industrial. Universidad Agraria La Molina.

Restrepo, C. Montes, J. Gomez, L. y Cano, J. (2022). “Effects of packaging in modified atmospheres on the conservation of corn arepas. En: Revista Lasallista de Investigación. Vol. 9. N°2.

Rolle, L. Siret, R. Río-Segade, S. y Maury, C. (2022). “*Instrumental Texture Analysis Parameters as Markers of Table-Grape and Winegrape Quality*”: A Review. Am. J. Enol. Vitic.

Romo, S.; Rosero, A.; Forero, CL. y Ramírez, E. (2021). “*Potencial nutricional de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) variedad piartal en los andes colombianos primera parte*”. Rev. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. 4 (1):1-14.

Romero, M. (2018). “*Proceso de extrusión y pelletización de alimentos*”. Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Agraria La Molina. Lima – Perú.

Roundaut, Y. Coste, B. y Hao, J. Delmas, P. y Crest, M. (2022). Touch sense: functional organization and molecular determinants of mechanosensitive receptors. En. Pub. Med. Vol. 6. N° 4. Pp. 234 – 245.

Risco, M. Reland, D. Avendaño, T. Martínez, A. Quispe, P. Pérez, Ch. Aróstegui, G. Calderón, G. Guevara, C. y Valdez, R. (2022). “*Conociendo la cadena productiva del maíz morado en Ayacucho*”. Solid - Perú. Disponible en <https://es.scribd.com/document/84836125/Cadena-Productiva-demaiz-morado>.

Salinas, M. Martinez, B. Soto, H. Ortega, P. y Arellano, V. (2023). “*Effect of alkaline cooking process on anthocyanins in pigmented maize grain*”. Agrociencia, 617-628.

Sandoval, N. (2023). “*Elaboración de un producto tipo snack (bocaditos) a partir de la mezcla de harinas de maíz (*Zea mays L.*) y pituca (*Colocasia esculenta*)*”. Tesis para optar el título de ingeniero de Industrias Alimentarias. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Salinas, Y. Rubio, D. y Díaz, A. (2021). “*Extracción y uso de pigmentos del maíz (*Zea mays L.*) como colorantes en yogur*”. Departamento de ingeniería agroindustrial. Universidad autónoma Chapingo, México. 293-298 p.

Sevilla, R. y Valdez, A. (2018). “*Estudio de factibilidad del cultivo de maíz morado. Fondo de Promoción y Exportación (FOPEX)*”. Lima, Perú. 46 p.

Sozer, N. Dalgic, A y Kaya, A. (2021). “*Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. Food Eng*”. Pp. 81: 476 – 484.

Stark, A. y Madar, Z. (2024). “*Dietary fiber. Functional food: Designer food, pharmafoods, nutraceuticals*”. New York: Springer.

- Steel, C. Vernaza, M. Schmiele, M. Ferreira, R. y Chang, Y. (2022). “*Thermoplastic Extrusion in Food*” Processing. InTech, 267-290.
- Stone, H. y Sidel, J. (2018). “*Sensory Evaluation Practices*”. Elsevier Academic Press. London, U.K.
- Texturómetro - Brookfield Engineering Labs. Inc. (2019).
- Texture-Technologies. (2019). “*Texture Technologies*”. Obtenido de <http://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis#selectcharacteristics>
- Túpac, V. (2022). “*Influencia del tamaño de partícula, humedad y temperatura en el grado de gelatinización durante el proceso de extrusión de maca (*Lepidium meyenii Walp*)*”. Lima.
- Valderrama, C. (2019). “*Efecto de la proporción de Maíz morado (*Zea Mays L.*), Quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*), kiwicha (*Amaranthus caudatus L.*) en las características fisicoquímicas, y aceptabilidad general de un extruido*”. Ingeniería Agroindustrial - Universidad Nacional de Trujillo – Perú.
- Valderrama, F. Arteaga, H. Flores, A. Obregón, J. y Barraza, G. (2020). “*Snacks a base de maíz morado, quinua y kiwicha. Características físicas y sensoriales*”. Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Trujillo, Perú
- Valls, A. (2023). “*El proceso de extrusión en cereales y haba de soya*”. In XI Curso de especialización FEDNA. Barcelona – España.
- Vernaza, M. Chang, Y. y Steel, C. (2019). “*Efeito do teor de farelo de maracujá e da umidade e temperatura de extrusão no desenvolvimento de cereal matinal funcional orgânico*”. Brazilian Journal of Food Technology, 145-154.
- Vinces. R. y Zavala, V. (2020). “*Obtención de harina nixtamalizada de maíz morado (*zea mays l.*) por extrusión*”. Facultad de Ingeniería. Universidad San Ignacio del Loyola.
- Vidal, A. Cáceres, G. Estrada, R. y Pinedo R. (2021). “*Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*” .1 ed. Lima: INIA. Pp. 42 – 48.

Xu, A. Xianfeng, D. Peirong, B. Li, A. Yan, C. y Xiuhong, C. (2017). “*Morfologías y comportamientos de gelatinización de almidones de maíz con alto contenido de amilosa durante el tratamiento térmico*”.

Zamorano, M., Guzmán, E., y Ibáñez, J. (2020). “*Estudio del consumo y aporte nutricional de bocadillos en escolares de la región metropolitana de Chile*”. Revista chilena de nutrición, 37, 439-445.

Zapata, M. 2010. “*Utilización de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en el manjar de leche con sustitución parcial de suero de quesería en la empresa de lácteos “San Antonio C.A.” del Cantón Cañar*”. Tesis bach. Ambato, Ecuador. Universidad Técnica de Ambato. 150 p

Zúñiga, V. (2022). “*La tecnología del proceso de extrusión para la elaboración de alimentos. (En linea)*”. ME. Formato PDF. Disponible:<http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/123456789/5171/1/LATECNOLOGIADELPROCESODEEXTRUSIONPARALAELOBRACION DEALIMENTO.pdf>.

CAPÍTULO VII

VII. ANEXOS

ANEXO I

Ensayo de laboratorio – snack de harina de maíz morado y harina de quinua



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 120



INFORME DE ENSAYO N° 2867/2025

Registre N° LE - 120

FR044

N° de Orden de Servicio	:	ITS20413
N° de Protocolo	:	1097
Cliente	:	NUTRINATURAL FOOD'S DEL PERU S.A.C.
Dirección	:	CAR. CAJAMARCA-JESÚS KM. 12.5 CAS. YANAMARCA CAJAMARCA CAJAMARCA LLACANORA P05 080107 PERU - CAJAMARCA - CAJAMARCA - LLACANORA
Procedencia de la Muestra	:	Proporcionado por el Cliente
Muestra(s) Declarada(s)	:	CEREAL EXTRUIDO A BASE DE MAÍZ MORADO Y QUINUA
Cantidad de Muestra(s) para Ensayo	:	2 UND x 100g c/u
Forma de Presentación	:	Empaque de polipropileno
Fecha de Recepción de Muestra(s)	:	2025-02-05
Fecha de Inicio de Análisis	:	2025-02-05
Fecha de Fin de Análisis	:	2025-02-11
Fecha de Emisión de Informe	:	2025-04-21

Codificación y Resultados

Código de Laboratorio	1661		
Tipo de Ensayo	L.C.	Unidades	Resultados
Alatoxinas totales*	0.5	ppb	<0.5
Parámetros Químicos			
-Grasas Saturadas*	—	g/100g	0.92
Saponina *	—	%	0
Parámetros Químicos			
Acidez (Expresado en ácido sulfúrico)*	—	g/100g	0.14
Azúcares totales*	—	%	0.86
Grado de gelatinización*	—	%	96
Humedad	—	g/100g	7.7
Proteína*	—	%	9.63
Parámetros Instrumentales			
Sodio*	0.013	mg/100g de Na	334.89

Observaciones

* L.C.: Límite de cuantificación

() Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

Metodologías

Tipo de ensayo	Norma de Referencia
Acidez*	NMX-F-102-S-1978. Determinación de la acidez titulable.
Alatoxinas totales*	NEOGEN CORPORATION. Veratox HS for Aflatoxin (high sensitivity). 2008 / Veratox HS. Aflatoxin high sensitivity quantitative test.
Azúcares totales*	NMX-F-312-2018. Determinación de azúcares reducidores en alimentos y bebidas no alcohólicas.
Grado de gelatinización*	ITS-112 ver 01 (VALIDADO). Determinación del porcentaje de gelatinización. Método enzimático-aspectofotométrico.
Grasas saturadas*	AOAC 996.06-1998(2010).Fat (Total, Saturated and Unsaturated) in foods. Hydrolytic extraction gas chromatographic method
Humedad	NTP 205.02.2021 CEREALES Y LEGUMBRES. Determinación del contenido de humedad. Método de rutina
Proteína*	COVENIN 1195. 198. Alimentos. Determinación de Nitrógeno. Método Kjeldahl
Saponina*	NTE INEN 1672-2013 QUINUA. Determinación del contenido de saponinas por medio del método espumoso (Método de Rutina)
Sodio*	AOAC 985.35-2019. Determinación de hierro, zinc, manganeso, calcio, magnesio, cobre, sodio, potasio por absorción atómica

Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

1 de 2

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pueden extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado de sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de ITS a su público, su adulteración o uso indebidamente constituye una infracción contra la ley pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERU S.A.C. no realizó la forma de muestra o el muestrero, los resultados se aplican a la muestra tal como fueron recibidas. INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERU S.A.C. declina responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERU S.A.C.

Versión: 08 Fecha de revisión: 14/03/2025

Sv. Mz. D-1 LT. 27 - Programa Ciudad Manscal Cáceres Sector I - 2da Etapa (Av. Wiese 3340 - 1er y 2er piso). San Juan de Lurigancho - Lima - Peru
Teléfonos: (01) 4680302 - (01) 934169393 / 999378182 - E-mail: itsperu@itsperu.com.pe - www.itsperu.com.pe



Inspection & Testing Services del Perú S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 120

INFORME DE ENSAYO N° 2867/2025



Registro N° LE - 120

Bla. Mblg. Mónica Avilés Tiburcio
C.B.P. 12859
Jefe de Laboratorio de Biología

Ing. Alex Herlyn Depaz Ramos
C.J.P. 225833
Jefe de Laboratorio de Química



Fin de Documento

2 de 2

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pueden extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de información pública, su adulteración o uso indebidamente constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERÚ S.A.C. no realiza la toma de muestra o el muestrero, los resultados se aplican a la muestra tal como fueron recepcionadas. INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERÚ S.A.C. declina responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERÚ S.A.C.

Versión: 00 Fecha de revisión: 14/03/2025

Sv. Mz: D-1 LT. 27 - Programa Ciudad Mariscal Cáceres Sector I - 2da Etapa (Av. Wiesse 3840 - 1er y 2er piso), San Juan de Lurigancho - Lima - Perú
Teléfono (01) 4680802 - ☎ 93419939 / 996378162 - ☐ itsperu@itsperu.com.pe - ☐ www.itsperu.com.pe

ANEXO II

Formulaciones para elaboración de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

N° Tratamientos	T° Extrusión (°C)	Formulaciones: Maíz morado/Quinua (%)	Materias primas utilizadas Maíz morado (kg)	Quinua (kg)	Bach kg (Totales)
9					
T ₁	90°C	50%/50%	2.5	2.5	5
T ₂	90°C	60%/40%	3.0	2.0	5
T ₃	90°C	70%/30%	3.5	1.5	5
T ₄	100°C	50%/50%	2.5	2.5	5
T ₅	100°C	60%/40%	3.0	2.0	5
T ₆	100°C	70%/30%	3.5	1.5	5
T ₇	110°C	50%/50%	2.5	2.5	5
T ₈	110°C	60%/40%	3.0	2.0	5
T ₉	110°C	70%/30%	3.5	1.5	5
Pasadas o repeticiones (x 3)			27 kg	18 kg	45 kg
Total			81 kg	54 kg	135 kg

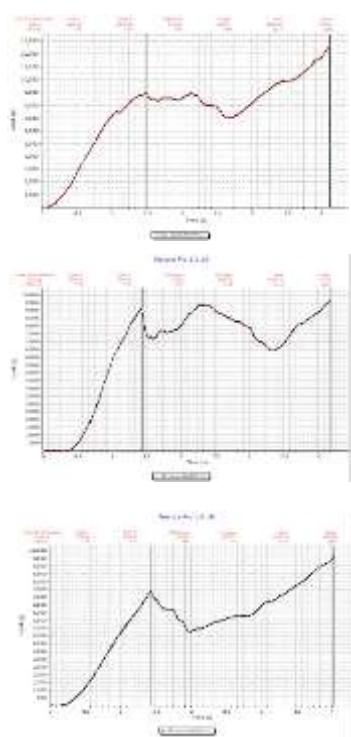
Nota. En la tabla se observa las formulaciones establecidas para esta investigación, producto (snack de harina de maíz morado y harina de quinua), donde se detalla las cantidades totales en (kg) utilizadas para la elaboración del producto, así como las formulaciones establecidas para cada uno de los nueve (9) tratamientos de estudio.

ANEXO III

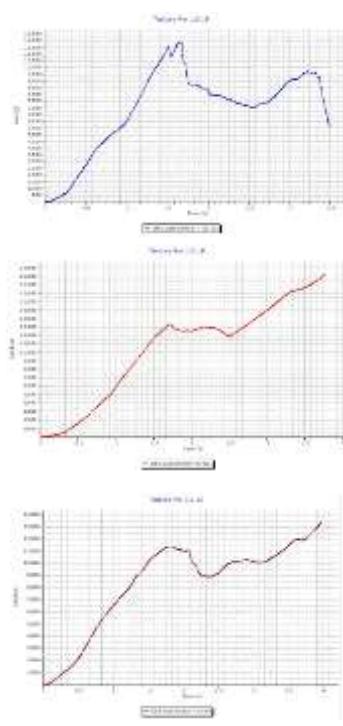
Gráficos de textura instrumental (dureza y fracturabilidad) en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua

T1

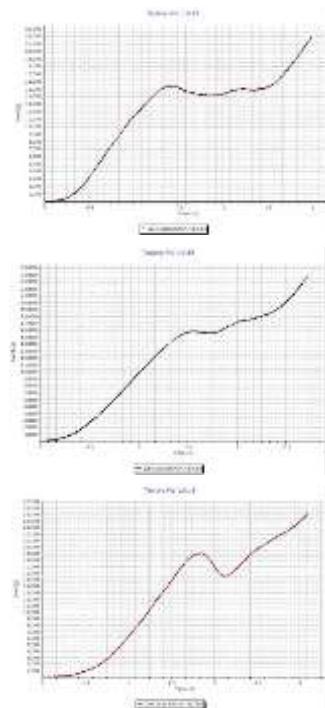
ZONDAS DE COMPRESIÓN – 25nn



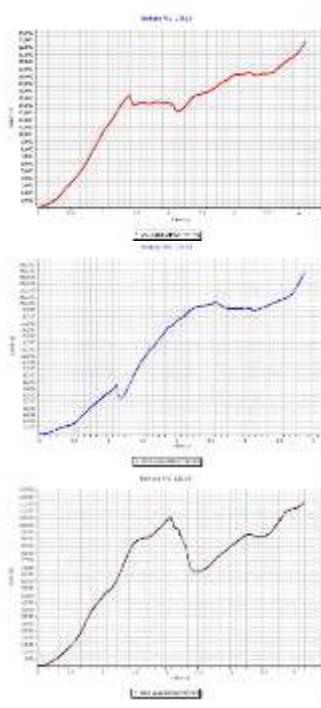
T2

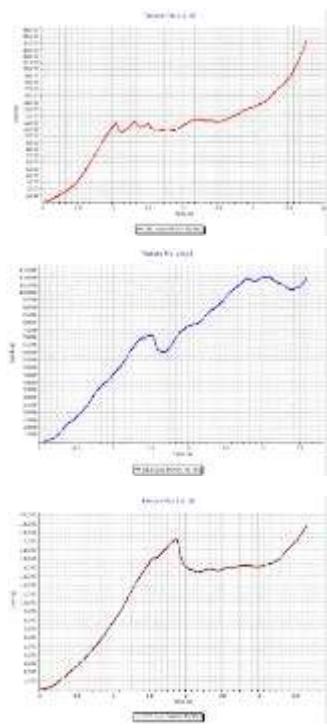
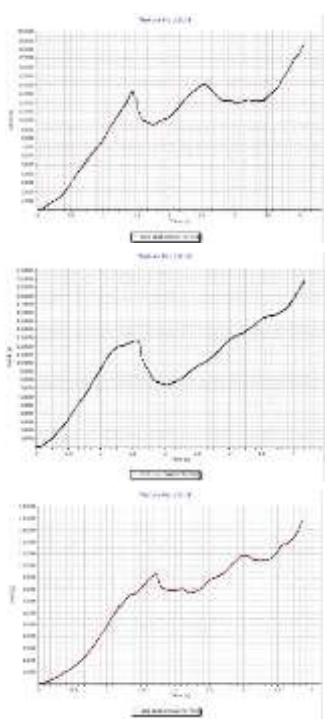
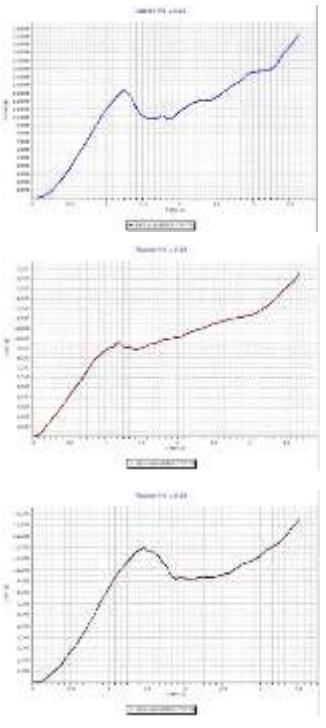
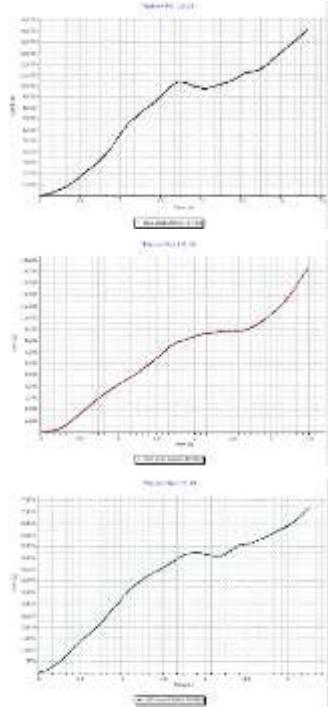
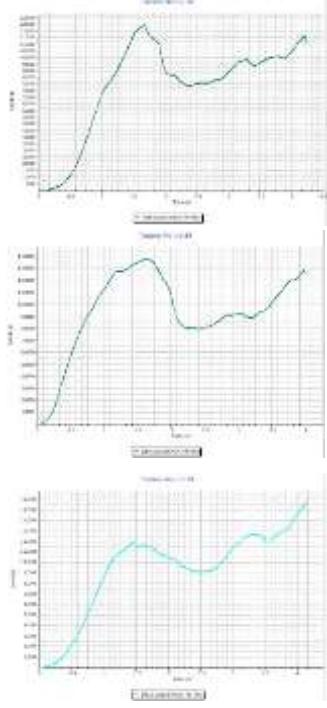


T3



T4



T5**T6****T7****T8****T9**

ANEXO IV

Galería fotográfica (materia prima, máquinas, equipos y proceso de elaboración)



Maíz morado (INIA 601) y Quinua (Blanca – Imperial)



Agua de corontas de maíz morado hervido



Extrusor de tornillo



Proceso de extrusión

ANEXO V

Galería fotográfica – Determinación de humedad en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua



Snacks de harina de maíz morado y harina de quinua



Muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua en estufa (proceso de secado)



Enfriado de muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua a temperatura ambiente



Pesado de muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua en balanza analítica

ANEXO VI

Galería fotográfica – Análisis de textura instrumental en snacks de harina de maíz morado y harina de quinua



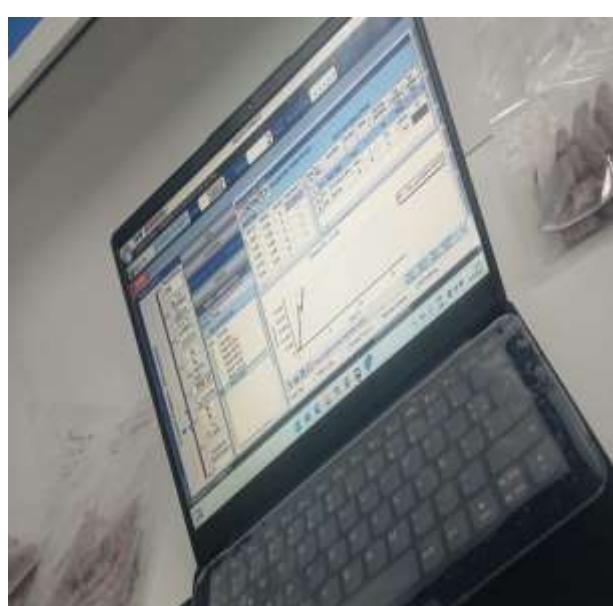
Muestras de snacks de harina de maíz morado y harina de quinua en laboratorio (OFILAB PERÚ – SAC)



Medición de textura (dureza)



Medición de textura (fracturabilidad)



Procesamiento de datos de textura instrumental (dureza y fracturabilidad)