

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



TESIS:

Desarrollo de un snack extruido tipo crocante a base de grits de maíz amarillo (*Zea mays* L.), harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) germinada y cushuro (*Nostoc sphaericum*)

Para optar el título profesional de:
INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTADO POR:
Bach. Elizabeth QUISPE ROIRO
Bach. Vanessa Alexandra QUISPE CONDE

ASESOR:
Dr. Antonio Jesús MATOS ALEJANDRO

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

A Dios, que guía cada paso de mi vida, por brindarme salud y fortaleza. Su presencia me ha brindado serenidad, esperanza y la convicción de que todo esfuerzo tiene recompensa. A mis queridos padres Melanio y Luzmila, por su apoyo incondicional, su sacrificio y paciencia. Por mostrarme lo que es la dedicación y la fortaleza y motivarme a seguir adelante. A mis hermanos y hermanas por estar presentes en cada etapa de mi vida, por sus palabras de aliento y sus consejos. A Lister, le expreso mi gratitud por su apoyo, paciencia y comprensión; incentivándome siempre a lograr cada meta.

ELIZABETH

A Dios, por brindarme la fortaleza y la perseverancia necesaria, guiando cada paso de mi formación personal y profesional. A mi amada hija Amber Grissel, quien representa mi mayor motivación y razón para superarme cada día. A mis padres, Beltran y Catalina, por su apoyo incondicional y sus consejos, así como por inculcarme valores fundamentales que han sido pilares esenciales en mi formación académica y humana. A mis hermanos y a todos mis seres queridos, por su constante y afectuosa compañía en los momentos más importantes e inolvidables de esta travesía.

VANESSA

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la fortaleza necesaria que nos dio en los momentos difíciles y mantener nuestros objetivos claros para culminar con éxito los años cursados en la universidad y ahora con esta nueva meta propuesta.

A nuestros familiares, por su apoyo incondicional a lo largo de este camino, por su amor, apoyo, paciencia y las palabras de ánimo.

A nuestra alma máter, la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, en especial a los ingenieros de la escuela profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, por sus valiosas enseñanzas y consejos a lo largo de nuestros estudios universitarios que contribuyeron a la culminación de nuestra investigación.

A nuestro asesor, Dr. Antonio Jesús Matos Alejandro, por brindarnos su tiempo, conocimientos, recomendaciones y respaldo durante toda la investigación.

Al ingeniero Juan Edgar Pizarro Castillo de la empresa ANDES FOOD PERÚ SAC, por su apoyo y permitirnos sus instalaciones para la realización de nuestros experimentos para el desarrollo de nuestra investigación.

A todas las personas que de alguna manera han hecho posible la realización y culminación de la presente investigación.

Finalmente, a la escuela profesional de Biología, por permitirnos el uso de sus laboratorios.

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo desarrollar un snack extruido tipo crocante a base de grits de maíz amarillo (*Zea mays* L.), harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) germinada y cushuro (*Nostoc sphaericum*), buscando optimizar sus características proximales, tecnofuncionales y sensoriales. En la metodología de elaboración se consideró tres procesos principales; obtención de harina de quinua germinada, harina de cushuro y de los snacks extruidos; se aplicó diseño de mezclas con vértices extremos empleando el programa Design Expert V.13 y se generó 9 formulaciones que incluían harina de cushuro (1,88-4,71%), harina de quinua germinada (9,42-18,84%) y grits de maíz (56,52-75,36%). Los parámetros fijos en el extrusor de doble tornillo fueron la velocidad de alimentación (10,74 Hz), humedad (12,5%), velocidad de corte (32,61 Hz), velocidad de tornillo 500 RPM, temperatura de cocción 140 °C y la matriz (3,2 mm). A estos snacks se les realizó los análisis proximales (humedad, proteína y fibra cruda), determinación de las propiedades tecnofuncionales (índice de expansión, densidad aparente, índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua, textura (dureza) y color (L*, a*, b*)) y evaluación sensorial (color, olor, sabor y textura. Los resultados mostraron que la formulación T₁ con mayor contenido de harinas de quinua germinada y el cushuro incrementó las características proximales como la fibra cruda y proteína. No obstante, tuvieron un efecto negativo en las propiedades tecnofuncionales reduciendo el índice de expansión, la textura, la luminosidad, aumentaron la densidad y humedad, además de presentar menor índice de absorción de agua y mayor índice de solubilidad en agua. Por otro lado, la formulación T₂ con mayor contenido de los grits de maíz mejoró la expansión, textura y luminosidad; sin embargo, disminuyó la densidad aparente, humedad y el índice de solubilidad en agua. Asimismo, se llevó a cabo la evaluación sensorial, demostrando que la formulación T₉ fue la que obtuvo mayor puntuación. Esta variabilidad de resultados motivó a optimizar las variables respuesta mediante la función de deseabilidad, a fin de obtener un equilibrio óptimo entre ellas, el programa identificó la región óptima con una deseabilidad de 0,710 y la respuesta validada fue el T₉, compuesta por 74,53% de grits de maíz, 15,66% de harina de quinua germinada y 4,00% de harina de cushuro, que presentó un 3,615% de humedad, 10,38% de proteína, 0,68% de fibra cruda, IE (4,503), DA (0,328 g/cm³), IAA (5,33 g gel/g), ISA (31,023%), color (L*: 68,09; a*: 5,72; b*: 27,78), respectivamente, textura (dureza: 212,912 N) y buena aceptabilidad sensorial con puntaje de (5,47).

Palabras clave: harina de quinua germinada, harina de cushuro, diseño de mezclas, snack extruido, optimización.

ABSTRACT

The research aimed to develop an extruded crunchy snack based on yellow corn grits (*Zea mays* L.), sprouted quinoa flour (*Chenopodium quinoa* Willd.), and cushuro (*Nostoc sphaericum*), seeking to optimize its proximal, techno-functional, and sensory characteristics. In the methodology of preparation, three main processes were considered: obtaining sprouted quinoa flour, cushuro flour, and extruded snacks; a mixture design with extreme vertices was applied using the Design Expert V.13 program, generating 9 formulations that included cushuro flour (1,88-4,71%), sprouted quinoa flour (9,42-18,84%), and corn grits (56,52-75,36%). The fixed parameters in the twin-screw extruder were the feed rate (10,74 Hz), moisture (12,5%), cutting speed (32,61 Hz), screw speed (500 RPM), cooking temperature (140 °C), and the die (3,2 mm). These snacks underwent proximate analysis (moisture, protein, and crude fiber), determination of techno-functional properties (expansion index, apparent density, water absorption index, water solubility index, texture (hardness), and color (L*, a*, b*)), and sensory evaluation (color, odor, flavor, and texture). The results showed that formulation T₁, with a higher content of sprouted quinoa flour and cushuro, increased proximate characteristics such as crude fiber and protein. However, it had a negative effect on techno-functional properties, reducing the expansion index, texture, and luminosity, increasing density and moisture, and presenting a lower water absorption index and a higher water solubility index. On the other hand, formulation T₂, with a higher content of corn grits, improved expansion, texture, and luminosity; however, it decreased apparent density, moisture, and the water solubility index. Additionally, a sensory evaluation was conducted, demonstrating that formulation T₉ received the highest score. This variability in results motivated the optimization of response variables using the desirability function, in order to achieve an optimal balance among them. The program identified the optimal region with a desirability of 0,710, and the validated response was T₉, composed of 74,53% corn grits, 15,66% sprouted quinoa flour, and 4,00% cushuro flour, which presented 3,615% moisture, 10,38% protein, 0,68% crude fiber, expansion index (4,503), apparent density (0,328 g/cm³), water absorption index (5,33 g gel/g), water solubility index (31,023%), color (L*: 68,09; a*: 5,72; b*: 27,78), respectively, texture (hardness: 212,912 N), and good sensory acceptability with a score of (5,47).

Keywords: sprouted quinoa flour, cushuro flour, mixture design, extruded snack, optimization.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	4
MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. ANTECEDENTES.....	4
1.1.1. A nivel internacional.....	4
1.1.2. A nivel Nacional	5
1.1.3. A nivel local.....	8
1.2. QUINUA (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.)	8
1.2.1. Morfología de la Quinoa.....	9
1.2.2. Variedades de Quinoa	9
1.2.3. Taxonomía.....	10
1.2.4. Composición nutricional	10
1.3. GERMINACIÓN	13
1.3.1. Condiciones para una buena germinación	13
1.3.2. Etapas de la germinación.....	14
1.3.3. Quinoa germinada	14
1.3.4. Efecto de la germinación sobre los nutrientes.....	15
1.3.5. Usos de los germinados en la industria alimentaria	17
1.4. CUSHURO (<i>Nostoc sphaericum</i>).....	18
1.4.1. Hábitat	18
1.4.2. Variedades.....	19
1.4.3. Taxonomía.....	19
1.4.4. Composición química del cushuro	19
1.4.5. Composición nutricional del cushuro.....	20
1.4.6. Principales componentes del cushuro.....	21
1.4.7. Propiedades funcionales de la harina de cushuro.....	23
1.4.8. Aplicación en la industria alimentaria	23
1.5. MAÍZ AMARILLO (<i>Zea mays</i> L.)	24
1.5.1. Estructura del maíz amarillo.....	24
1.5.2. Taxonomía.....	25
1.5.3. Composición fisicoquímica del maíz	25
1.5.4. Almidón.....	26
1.5.5. Grits de maíz	26
1.5.6. Composición nutricional del grits de maíz	27

1.6.	LA EXTRUSIÓN	28
1.6.1.	Definición.....	28
1.6.2.	Descripción general del proceso de extrusión.....	28
1.6.3.	Factores que influyen en la extrusión.....	30
1.6.4.	Cambios nutricionales durante la extrusión.....	31
1.7.	SNACKS EXTRUIDOS	34
1.7.1.	Definición de Snack	34
1.7.2.	Clasificación.....	34
1.8.	CONTROL DE CALIDAD DE LOS SNACKS EXTRUIDOS	35
1.8.1.	Requisitos para los snacks extruidos	35
1.8.2.	Calidad tecnológica de los snacks extruidos	37
1.9.	ATRIBUTOS DE CALIDAD SENSORIAL.....	41
1.9.1.	Pruebas afectivas	42
1.9.2.	Pruebas de satisfacción	42
1.9.3.	Pruebas hedónicas	42
1.10.	MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS	43
1.10.1.	Restricciones en los componentes de una mezcla.....	45
1.10.2.	Método de la función de deseabilidad	46
	CAPÍTULO II	47
	MATERIALES Y MÉTODOS	47
2.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	47
2.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	47
2.3.	NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	48
2.4.	POBLACIÓN MUESTRA.....	48
2.4.1.	Población.....	48
2.4.2.	Muestra.....	48
2.5.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	48
2.5.1.	Materia prima.....	48
2.5.2.	Insumos	48
2.5.3.	Materiales de laboratorio.....	48
2.5.4.	Reactivos	49
2.5.5.	Equipos.....	49
2.5.6.	Otros materiales.....	50
2.6.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	50
2.6.1.	Proceso de obtención de harina de quinua germinada	50
2.6.2.	Proceso de obtención de harina de cushuro	52

2.6.3.	Proceso de obtención del snack extruido.....	54
2.7.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	56
2.8.	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	59
2.8.1.	Análisis proximal.....	59
2.8.2.	Determinación de las propiedades tecnofuncionales	60
2.8.3.	Evaluación sensorial.....	60
2.9.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	60
CAPÍTULO III		62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		62
3.1.	CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	62
3.1.1.	Composición proximal de las materias primas	62
3.1.2.	Composición de humedad de la mezcla base	64
3.2.	ANÁLISIS PROXIMAL DEL SNACK EXTRUIDO	66
3.2.1.	Humedad	67
3.2.2.	Proteína.....	71
3.2.3.	Fibra cruda.....	74
3.3.	ANÁLISIS DE PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES.....	78
3.3.1.	Índice de expansión (IE)	79
3.3.2.	Densidad aparente (DA)	82
3.3.3.	Índice de absorción de agua (IAA).....	86
3.3.4.	Índice de solubilidad en agua (ISA).....	89
3.3.5.	Color instrumental.....	93
3.3.6.	Textura instrumental	97
3.4.	EVALUACIÓN SENSORIAL	104
3.4.1.	Color	105
3.4.2.	Olor	109
3.4.3.	Sabor.....	113
3.4.4.	Textura	117
3.4.5.	Aceptabilidad general	121
3.5.	OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN.....	125
3.5.1.	Validación de la formulación óptima.....	130
3.6.	COMPARACIÓN DE LOS SNACK.....	132
CONCLUSIONES		135
RECOMENDACIONES		137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Composición nutricional de la quinua (g/100 de porción comestible).....	11
Tabla 2	Perfil de aminoácidos en quinua y otros cereales.....	12
Tabla 3	Composición nutricional de la quinua germinada variedad blanca	15
Tabla 4	Contenido de almidón y azúcares en quinua germinada (g/100g)	17
Tabla 5	Composición proximal del cushuro fresco en muestra seca y fresca.....	20
Tabla 6	Composición nutricional del cushuro (g /100 g).....	21
Tabla 7	Aminoácidos esenciales del cushuro e ingesta diaria recomendada	22
Tabla 8	Composición fisicoquímica del maíz amarillo	25
Tabla 9	Cantidad y temperaturas de gelatinización del almidón de maíz	26
Tabla 10	Composición proximal de grits de maíz.....	27
Tabla 11	Requisitos para los snacks extruidos de cereales y leguminosas.....	36
Tabla 12	Parámetros de análisis de textura	40
Tabla 13	Escala hedónica empleada en la evaluación sensorial.....	43
Tabla 14	Valores máximos y mínimos para las formulaciones de los componentes...56	
Tabla 15	Formulaciones empleadas en la elaboración de los snacks extruidos	57
Tabla 16	Cantidades de materia prima e insumos para las 9 formulaciones	58
Tabla 17	Escala hedónica empleada en la evaluación sensorial.....	60
Tabla 18	Caracterización química proximal de las materias primas	62
Tabla 19	Humedad inicial de la mezcla de los componentes para cada formulación .65	
Tabla 20	Resultados obtenidos del análisis químico proximal del snack extruido	67
Tabla 21	Resumen estadístico de los modelos para humedad	67
Tabla 22	Análisis de varianza del modelo lineal para la humedad	68
Tabla 23	Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para humedad.....	68
Tabla 24	Resumen estadístico de los modelos para proteína	71
Tabla 25	Análisis de varianza del modelo lineal para la proteína	72
Tabla 26	Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para proteína.....	72
Tabla 27	Resumen estadístico de los modelos para fibra cruda	74
Tabla 28	Análisis de varianza del modelo lineal para fibra cruda	75
Tabla 29	Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para fibra cruda.....	75
Tabla 30	Resultados obtenidos de las propiedades tecnofuncionales.....	78
Tabla 31	Resumen estadístico de los modelos para IE.....	79
Tabla 32	Análisis de varianza para el modelo lineal de IE.....	79
Tabla 33	Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para el IE	80
Tabla 34	Resumen estadístico de los modelos para DA	82

Tabla 35	Análisis de varianza para el modelo lineal de DA.....	83
Tabla 36	Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para la DA.....	83
Tabla 37	Resumen estadístico de los modelos para IAA	86
Tabla 38	Análisis de varianza del modelo lineal para el IAA	86
Tabla 39	Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para el IAA	87
Tabla 40	Resumen estadístico de los modelos para ISA	89
Tabla 41	Análisis de varianza del modelo lineal para el ISA	90
Tabla 42	Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para el ISA	91
Tabla 43	Resultados de los parámetros de color L*, a* y b*.....	93
Tabla 44	Resumen de modelos estadísticos para los parámetros de color	94
Tabla 45	Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para color instrumental.....	95
Tabla 46	Valores promedio de la textura de los snacks extruidos	97
Tabla 47	Resumen de modelos estadísticos para los parámetros de textura.....	99
Tabla 48	Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para la textura instrumental.	100
Tabla 49	Resultados de las medias de los atributos sensoriales.....	104
Tabla 50	Resumen de modelos estadísticos para el atributo sensorial color.....	105
Tabla 51	Análisis de varianza para el atributo color	105
Tabla 52	Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para el atributo color	106
Tabla 53	Resumen de modelos estadísticos para el atributo sensorial olor	109
Tabla 54	Análisis de varianza para el atributo olor	109
Tabla 55	Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para el atributo olor	110
Tabla 56	Resumen de modelos estadísticos para el atributo sensorial sabor	113
Tabla 57	Análisis de varianza para el atributo sabor	114
Tabla 58	Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para el atributo sabor	114
Tabla 59	Resumen de modelos estadísticos para el atributo sensorial textura	117
Tabla 60	Análisis de varianza para el atributo textura	117
Tabla 61	Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para el atributo textura	118
Tabla 62	Resumen de modelos estadísticos para el atributo aceptabilidad general..	121
Tabla 63	Análisis de varianza para el atributo aceptabilidad general	121
Tabla 64	Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para la aceptabilidad	122
Tabla 65	Restricciones utilizadas para optimizar el snack extruido	125
Tabla 66	Optimización de respuestas múltiples por criterios de deseabilidad	126
Tabla 67	Formulaciones obtenidas tras la optimización simultánea de respuestas ..	127
Tabla 68	Valores predichos y experimentales para cada variable de respuesta	130
Tabla 69	Composición nutricional del snack aceptado, control y los comerciales	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Sección longitudinal media del grano de quinua	9
Figura 2	Granos de quinua variedad blanca Junín.....	10
Figura 3	Germinados de granos de quinua variedad blanca.....	15
Figura 4	El cushuro (<i>Nostoc sphaericum</i>).....	19
Figura 5	Estructura del grano de maíz amarillo	24
Figura 6	Sección transversal de una extrusora de alimentos de un solo tornillo	29
Figura 7	Diagrama que muestra la posición de extrusor de tornillo simple y doble	29
Figura 8	Surtido de snack extruidos	35
Figura 9	Gráfico general del análisis del perfil de textura.....	40
Figura 10	Espacio factorial restringido para mezclas con 3 componentes ($p=3$).....	44
Figura 11	Sistema coordinado trilineal.....	45
Figura 12	Diagrama de flujo para la obtención de harina de quinua germinada.....	52
Figura 13	Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de cushuro	53
Figura 14	Diagrama de flujo de la obtención de snack extruido	55
Figura 15	Representación gráfica del diseño de mezclas con restricciones	57
Figura 16	Esquema experimental para la optimización del snack extruido	59
Figura 17	Determinación de humedad inicial de la mezcla	65
Figura 18	Gráfico de contorno de mezcla del modelo lineal para la humedad	69
Figura 19	Gráfico de contorno de mezcla del modelo lineal para la proteína	73
Figura 20	Gráfico de contorno de mezcla del modelo lineal para fibra cruda	76
Figura 21	Gráfico de contorno de mezcla del modelo lineal para el IE.....	81
Figura 22	Gráfico de contorno de mezcla del modelo lineal para la DA	84
Figura 23	Gráfico de contorno de mezcla del modelo lineal para IAA	88
Figura 24	Gráfico de contorno de mezcla del modelo lineal para ISA	91
Figura 25	Gráfico de contornos de los parámetros del color instrumental L^* , a^* y b^* ..	96
Figura 26	Gráfico de la textura con valores más próximos al promedio de dureza	98
Figura 27	Gráfico de contornos para las diferentes propiedades texturales.....	102
Figura 28	Medias marginales para el atributo color	106
Figura 29	Grafico de trazas (Cox) para el atributo sensorial color	107
Figura 30	Medias marginales para el atributo sensorial olor	111
Figura 31	Gráfico de trazas (Cox) para el atributo sensorial olor	111
Figura 32	Medias marginales para el atributo sensorial sabor	115
Figura 33	Gráfico de trazas (Cox) para el atributo sabor	115
Figura 34	Medias marginales para el atributo sensorial textura	119

Figura 35	Gráfico de trazas (Cox) para el atributo sensorial textura	119
Figura 36	Medias marginales para el atributo sensorial aceptabilidad general	122
Figura 37	Gráfico de trazas (Cox) para el atributo sensorial aceptabilidad	123
Figura 38	Gráfico de contornos de deseabilidad (a) y superficie de respuesta (b)...	128
Figura 39	Gráfico de superposición de contornos que determina la región óptima ..	129
Figura 40	Comparación proximal de los snacks extruidos y los comerciales	133

INTRODUCCIÓN

Actualmente, muchas personas, tanto a nivel nacional como en regiones específicas, como Ayacucho, enfrentan obstáculos para conseguir una alimentación adecuada que les proporcione nutrientes suficientes. Esta situación se debe a la baja disponibilidad de alimentos saludables o al poco tiempo con el que cuentan para preparar los alimentos (Duarte et al., 2014). Estas circunstancias han promovido la preferencia por alimentos de fácil acceso y consumo rápido, aumentando así la demanda de alimentos ultra procesados, entre ellos los bocadillos tipo snack, los cuales son ampliamente aceptados por su practicidad, pero suelen ser tildados como productos dañinos para la salud debido a su alto contenido de azúcar, grasa, carbohidratos refinados, sodio, colorantes, saborizantes y otros aditivos que provocan una adicción. Según Sarmiento et al., (2025), estos productos suelen contener un alto valor energético y un aporte nutricional deficiente, por lo que limitan su aportación a una alimentación equilibrada. Específicamente los snacks, se fabrican con almidones tradicionales como el maíz, el arroz y el trigo. Por otro lado, el proceso de extrusión convencional, al centrarse únicamente en el sabor y la textura crocante, desaprovecha la oportunidad de actuar como un vehículo de fortificación. Este escenario pone de manifiesto una oportunidad fundamental para innovar en la creación de un producto alimenticio accesible, novedoso en su formulación, práctico para su consumo, más saludable y equilibrado, con ingredientes de alto valor nutritivo como la quinua germinada y el cushuro, que puede enriquecer notablemente el perfil nutricional de los snacks extruidos, ya que al emplearse únicamente cereales tradicionales como el maíz, el valor nutricional suele ser limitado, lo que ha motivado la incorporación de ingredientes alternativos y funcionales que permitan enriquecer su composición proximal sin afectar negativamente sus propiedades tecnofuncionales y sensoriales.

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un grano que presenta un equilibrio óptimo de los aminoácidos de su proteína, lo que la hace un elemento perfecto en la alimentación. Además, posee una proporción correcta de carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales, que potencian su valor nutricional, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2017). El proceso germinativo de la quinua potencia aún más estas cualidades, ya que se reduce parte de los carbohidratos y el contenido de antinutrientes como fitatos y taninos; así como también, incrementa eficazmente el contenido de fibra dietética, almidón resistente, capacidad antioxidante, aminoácidos libres y la biodisponibilidad de proteínas, mejorando el valor nutricional y

funcional del grano, favoreciendo la digestibilidad, la calidad proteica y su aplicación tecnológica en el desarrollo de alimentos más saludables como snacks extruidos más expansivos, de mejor textura y menor dureza (Lavado-Cruz et al., 2022; Paucarchuco y Vilchez, 2024).

Asimismo, el cushuro (*Nostoc sphaericum*) es una cianobacteria comestible de origen andino que destaca por su elevado valor nutricional y funcional, caracterizada por su alto contenido de proteínas, fibra dietética, minerales esenciales como el calcio y el hierro, y compuestos bioactivos. Tradicionalmente consumido en las zonas altoandinas, el cushuro ha despertado creciente interés científico y tecnológico debido a su potencial como ingrediente innovador en el desarrollo de alimentos saludables (Corpus et al., 2021). Muchos estudios han evaluado la incorporación de materias primas no convencionales en productos extruidos con el fin de mejorar su perfil nutricional; sin embargo, el aprovechamiento de recursos nativos andinos como el cushuro sigue siendo limitado.

En este contexto, la incorporación en matrices alimentarias basadas en grits de maíz amarillo con la incorporación de harinas de quinua germinada y cushuro, se propone como una estrategia innovadora que permite mejorar el perfil nutricional, aportar compuestos funcionales y diversificar el uso de recursos nativos, alineándose con las tendencias actuales de alimentos funcionales y sostenibles. Lo cual representa una solución creativa para cubrir las demandas nutricionales de los consumidores, fomentando así a una alimentación sana.

Bajo este enfoque, el presente estudio tiene como objetivo general desarrollar un snack extruido tipo crocante a base de grits de maíz amarillo (*Zea mays* L.), harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) germinada y cushuro (*Nostoc sphaericum*), que propone una alternativa viable para mejorar el perfil nutricional de este tipo de productos, obteniendo un producto alimenticio novedoso en su formulación, con mayor calidad nutricional y de fácil acceso para el consumidor. Con este fin, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la humedad, proteína y fibra cruda en el snack extruido a base de grits de maíz amarillo, harinas de quinua germinada y cushuro.
- Evaluar el índice de expansión, densidad aparente, índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua, color y textura instrumental en el snack extruido a base de grits de maíz amarillo, harinas de quinua germinada y cushuro.

- Evaluar el color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general del snack extruido a base de grits de maíz amarillo, harinas de quinua germinada y cushuro.
- Optimizar la formulación del snack extruido a base de grits de maíz amarillo, harinas de quinua germinada y cushuro, a partir de la evaluación de sus características proximales, tecnofuncionales y sensoriales.
- Comparar la composición proximal del snack extruido aceptado sensorialmente, el control (elaborado con grits de maíz amarillo y harina de quinua sin germinar) y los snacks comerciales.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. A nivel internacional

Muñoz et al. (2022) realizaron una investigación sobre la comparación de las propiedades físicas y pastosas de cuatro snacks producidos mediante cocción por extrusión de harina de quinua con alto contenido proteico. El objetivo del estudio fue determinar el potencial de producción de extruidos de cereales. La formulación estuvo compuesta por harina de arroz, harina de maíz, almidón de maíz y harina de quinua hiperproteica (HPQF); se añadió quinua en proporciones del 25 %, 30 % y 37 % al 27 % de contenido de humedad y procesadas en una extrusora de un solo tornillo a nivel de laboratorio. Se determinó la composición aproximada, sus propiedades físicas, texturales y de empastamiento. Los datos experimentales se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los resultados muestran que la adición de HPQF a la mezcla de cereales (CB) tiene un aumento significativo ($p < 0,05$) de proteína, fibra y lípidos de los snacks; así mismo, el contenido de humedad varió entre 7,66-9,11 %. La mezcla de cereales redujo en un 47% el índice de expansión (IE), mientras que la densidad del extruido (DE) y la dureza aumentaron en un 54% y un 30%, respectivamente. Después del proceso de extrusión, el índice de absorción de agua (IAA) y el índice de solubilidad en agua (ISA) aumentaron en más del 100%. La adición de harina de quinua hiperproteica (25–37%) no afectó al IAA, pero se observó un aumento en el (ISA). El proceso de extrusión de harina de quinua generó cambios en el color, principalmente en el parámetro L^* , que disminuyó en los snacks extruidos con harina de quinua (51,49), en comparación con el snack sin ella (62,68). Esto alteró la integridad de los gránulos de almidón y las proteínas asociadas, lo que provocó una

disminución de los picos de viscosidad durante el calentamiento y el enfriamiento posterior. Finalmente, las muestras extruidas evidenciaron estabilidad durante el proceso de retrogradación.

Taimal (2019) investigó sobre el estudio del efecto de los parámetros de extrusión sobre la calidad nutricional y textura en la mezcla de maíz (*Zea mays* L.), chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) y papa (*Solanum tuberosum*) en el snack. Buscó evaluar los efectos de las condiciones del proceso como la temperatura, humedad y formulación. En este estudio se empleó un diseño completamente al azar con un arreglo $A \times B \times C + 1$; el número de tratamientos fue de 8 más 1 testigo, con 3 repeticiones para cada tratamiento, dando un total de 27 unidades experimentales. En donde se muestra que el tratamiento 6 compuesta por 80% de maíz, 10% harina de chocho y 10% de harina de papa, a una humedad de 15% y 140 °C de temperatura de extrusión, tiene una humedad 5,74%; presentando mejor contenido nutricional con valores de proteína (12,29%), fibra (1,70%), ceniza (0,82%), lípidos (0,92%) y carbohidratos (79,23%) con relación al testigo (100% maíz) que presentó contenidos de proteína (8,32%), fibra (0,64%), ceniza (0,57%) y carbohidratos (85,44%). En cuanto a las propiedades funcionales, el tratamiento 6 presentó mayor índice de expansión IE (4,95%) y menores valores de índice de absorción de agua IAA (4,34 g gel/ g muestra), índice de solubilidad del agua ISA (0,47%) y densidad aparente DA (0,28%). Asimismo, este tratamiento presentó atributos texturales favorables, tales como dureza, crujencia y resistencia a la ruptura, y obtuvo la mayor puntuación en el análisis de aceptabilidad sensorial, evaluado mediante una escala hedónica de 5 puntos.

1.1.2. A nivel Nacional

Lavado (2022) desarrolló un extruido saludable a partir de harinas de quinua y cañihua germinadas con adición de maíz con el objetivo de desarrollar un extruido con óptimas características tecnológicas, compuestos bioactivos, actividad antioxidante y menor ácido fítico a partir de harinas de quinua (42 h/20°C) y cañihua (72 h/20°C) germinadas con adición de grits de maíz, usando un diseño de mezcla simplex-centroide, ejecutado por el software Design Expert, obteniendo 12 tratamientos, las variables dependientes fueron analizadas mediante la metodología de superficie de respuesta ($P < 0,10$ y $R^2 > 0,80$). Las mezclas se sometieron 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 tecnofuncionales de densidad aparente mostraron que al incorporar 100% de grits de maíz T_1 con 0,22 mg/cm³ fue menor frente a T_3 con 100% de harina de cañihua germinada con 0,73

mg/cm³. El tratamiento T₂, elaborado con 100% de harina de quinua germinada, registró el mayor índice de absorción de agua (IAA), alcanzando un valor de 5,96%; en contraste, el tratamiento T₉ presentó el menor valor de 3,0%. Respecto al índice de solubilidad en agua, el extruido formulado únicamente con grits de maíz mostró el valor más reducido (8,44%); sin embargo, al reemplazar el 50% del maíz por harinas de pseudocereales germinados, la solubilidad aumentó considerablemente hasta 15,38%. Por otro lado, el mayor índice de expansión se obtuvo en el tratamiento T₁, compuesto al 100% por grits de maíz, lo que sugiere que la expansión estaría asociada principalmente al contenido de almidón presente en el maíz y porcentajes reducidos de las harinas germinadas. En cuanto al trabajo de corte, el T₄ con 50 % de grits de maíz y 50 % de harina de quinua germinada fue el que tuvo mayor valor: 88,86 N. Los resultados de la formulación óptima desde un enfoque nutricional estuvieron compuestos por 0% de grits de maíz, 14% de harina de quinua germinada y 86% de harina de cañihua germinada con un 74,20 % de deseabilidad; mostraron menor cantidad de almidón y un contenido notablemente mayor de fibra dietética total, proteínas, lípidos y cenizas en comparación con los extruidos 100% de grits de maíz. En el análisis estadístico de intención de compra del consumidor, se obtuvo que el 37 % con certeza compraría, mientras que el 44% posiblemente compraría la formulación y un 33% comentaron no gustarle por el sabor amargo.

Obregón (2023) realizó un estudio sobre las propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales de una mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal (*Opuntia ficus indica*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa* Willd.). Se evaluó el análisis fisicoquímico, las propiedades tecnofuncionales, propiedades térmicas (DSC y TGA) y propiedades estructurales (pruebas SEM y análisis IR). Se añadió harina de quinua germinada entre 10 y 20% y mucílago de nopal entre 5 y 10%. Se implementó un diseño de mezclas, obteniéndose 4 tratamientos; se evaluaron los efectos de sustitución de ingredientes mediante un análisis de superficie de respuesta. Las propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales fueron sometidas a un ANDEVA (Análisis de Varianza), incluyendo pruebas de comparación múltiple de Tukey. El resultado del análisis fisicoquímico reportó un contenido de humedad máximo de 9,15%. El tratamiento T₃ con proporciones de 30% de maíz amarillo, 20% de harina de quinua germinada y 5% de mucílago de nopal se seleccionó como el mejor debido a que alcanzó mayor porcentaje de proteína (8,36%) y fibra (1,93%), en comparación con los demás tratamientos evaluados. Los resultados del índice de expansión (IE), entre el tratamiento sin fortificar y fortificado, demostraron que no hay diferencia significativa ($p\text{-value}>0,05$). Los tratamientos T₂ y T₄, los cuales se consideraron una sustitución parcial

33-28,5% de maíz amarillo, 10-20 % de quinua germinada, respectivamente; en ambos con 10% de mucílago de nopal, presentaron un mayor índice de absorción de agua (3,80 y 3,84 g/g), mientras que los tratamientos T₁ y T₃ con 36-30% de maíz amarillo, 10-20% de harina de quinua germinada, respectivamente; en ambos casos 5% de mucílago de nopal, exhibieron un mayor índice de solubilidad en agua (47,35% y 46,59%). Concluyendo que la adición de harina de quinua germinada y mucílago de nopal mejora considerablemente las propiedades tecnofuncionales y estructurales del snack extruido, convirtiéndolo en un potencial de uso en la industria alimentaria.

Verona (2022) elaboró un extruido de grits de maíz (*Zea mays* L.) con harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y kiwicha (*Amarantus caudatus*) germinadas con el fin de formular un extruido para conseguir apropiadas características tecnológicas, capacidad antioxidante, contenido de compuestos bioactivos y ácido fólico. Se evaluaron 12 tratamientos obtenidos a partir de las harinas de quinua germinada (42 h/20 °C), kiwicha germinada (63 h/26 °C) y grits de maíz sometidas a los parámetros fijos en el uso del extrusor doble tornillo (flujo de alimentación de 6 kg/h, velocidad del tornillo de 304 rpm, temperatura de siete zonas de 30, 45, 55, 75, 95, 105 y 115°C y la matriz de 5 mm ϕ). Las variables dependientes se analizaron empleando un diseño de mezclas simplex-centroide, considerando la metodología de superficie de respuesta ($P < 0,10$ y $R^2 > 0,75$). Luego de la ejecución del estudio, se reportó que la F₁ (100% de grits de maíz) presentó mejores características tecnológicas en su mayoría, a excepción de la dureza cuyos menores valores se presentaron en las F₇ (66,67% grits de maíz ;16,67% harina de quinua germinada; 16,67% harina de kiwicha germinada) y F₁₂ (33,33% grits de maíz; 33,33% harina de quinua germinada; 33,33% harina de kiwicha germinada), la F₂ (33,33% grits de maíz; 33,33% harina de quinua germinada; 33,33% harina de kiwicha germinada) obtuvo la mayor cantidad de compuestos fenólicos, la F₈ (16,67% grits de maíz; 66,67% harina de quinua germinada; 16,67% harina de kiwicha germinada) presentó mejor capacidad antioxidante y la F₁₁ obtuvo el menor contenido de ácido fólico. Posterior a esos análisis, la formulación más apropiada se determinó apuntando valores más altos de IE (2,10), parámetro-a* (5,71), ISA (36,96%), ORAC (60,91 $\mu\text{mol TE/g}$) y TSPC (910 mg GAE/100g); valores más bajos de DA (0,19 mg/cm³), WC (33,51 N), parámetro-b* (21,35) y PA (0,015 g/100g), con parámetro-L* en el rango (43,60). Obteniendo la formulación óptima en mezclas que contenían el 24% de maíz, 46% de quinua y 30% de kiwicha, con una deseabilidad del 79,39%. El análisis de intención de compra resultó que el 10% con certeza lo compraría, el 47% posiblemente lo compraría y el 43% restante tuvieron decisiones negativas.

1.1.3. A nivel local

Mendoza (2024) formuló un snack a base de quinua blanca (*Chenopodium quinoa* Willd.), chía (*Salvia hispánica*) y maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) por proceso de extrusión. El principal objetivo fue desarrollar una formulación adecuada con características fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales aceptables, empleando el método de diseño de mezclas con el software MINITAB 18, respondiendo al tipo de diseño de vértices extremos, en el cual se obtuvieron 9 formulaciones. En el proceso metodológico, inició realizando el acondicionamiento de la materia prima en los factores del tamaño de partícula y humedad, teniendo como resultados en la quinua con un valor del 0,707 mm, la chía con 0,595 mm y finalmente el maíz amarillo duro con 0,842 mm, factor que impacta significativamente en la calidad y las propiedades del producto. En cuanto a la humedad, se acondicionó cada formulación a un 12% de humedad. Los resultados mostraron que la formulación F₄ con 10 % de quinua blanca, 2 % de chía y 88% de grits de maíz amarillo fueron las que presentaron mejores características fisicoquímicas, los cuales constituyeron; proteínas de 11,46%, grasa de 6,30% y una humedad del 7,04%, sin embargo, hubo diferencias significativas en sus características fisicoquímicas en cuando a la mezcla antes de someter al proceso de extrusión cuyo contenido proteico fue de 35,4, grasa de 33,74% y humedad 9,42 %, lo que indica que las condiciones de temperatura (125 °C), humedad y tiempo de residencia empleadas favorecieron la desnaturalización de las proteínas lo que favorecieron a la reacción Maillard, afectando su fracción proteica cuantificable. Así mismo, los parámetros tecnofuncionales como índice de expansión (IE) de 2,08 resultaron ser adecuados en esta formulación, lo que se asoció a una textura más ligera y crujiente, como también obtuvo la mayor puntuación en la escala hedónica facial mixta dirigida a los niños de 3 a 5 años, indicando que la calidad nutricional y las propiedades sensoriales del producto extruido en esta formulación fueron los adecuados.

1.2. QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.)

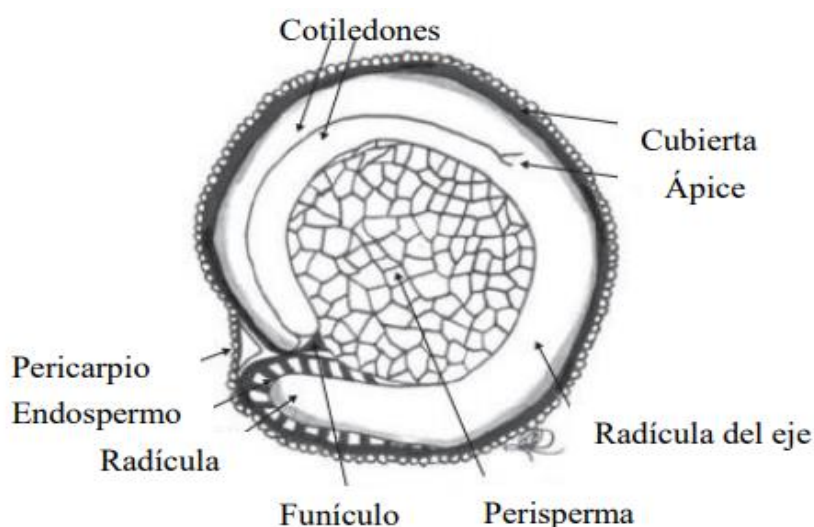
La quinua es un cultivo andino domesticado originario de las regiones montañosas de Perú y Bolivia. El grano se compone del pericarpio (la capa del fruto), la semilla y la saponina, que proporciona al grano su sabor amargo. La importancia nutricional de la quinua se basa en el equilibrio óptimo de los aminoácidos de su proteína, lo que la hace un elemento perfecto en la alimentación. Además, posee una proporción correcta de carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales que potencian su valor nutricional. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2017).

1.2.1. Morfología de la Quinua

El grano de quinua es un fruto seco, que presenta una forma de aquenio esferoidal revestido por el perigonio sepaloide. El epispermo, el embrión y el perispermo constituyen las tres partes de la semilla. El embrión se compone de dos cotiledones y la radícula, la cual presenta un tono castaño oscuro y alberga la mayor cantidad de proteína de la quinua. El perispermo, que se compone de granos de almidón de color blanco y constituye el 60% de la superficie de la semilla (Rojas, 2021).

Figura 1

Sección longitudinal media del grano de quinua



Nota. Esta figura muestra las partes fundamentales del grano de quinua variedad blanco. Adaptada de “Caracterización Fenotípica de 402 accesiones de Quinua” por Rojas, 2021.

1.2.2. Variedades de Quinua

La quinua cuenta con más de 1200 variedades, y sus semillas son extremadamente adaptables; se emplean tanto para consumo directo como para la elaboración de variados derivados. El Instituto de Innovación Agraria (INIA) ha conseguido diversas variedades de quinua mediante el Programa Nacional de Innovación Agraria en cultivos del Ande, incluyendo INIA 420-Negra Collana, INIA 431-Altiplano, Salcedo INIA, Illpa INIA, INIA 415-Pasankalla e INIA 427-Amarilla Sacaca (FAO, 2017).

Además, la quinua Pasankalla (INIA 415) proviene de la accesión Pasankalla, recolectada en 1978 en la localidad de Caritamaya (Ácora, Puno). Se considera la variedad más empleada, gracias a la escasez de saponinas en su episperma, lo que

evita su característico sabor amargo. Adicionalmente, cuenta con un elevado valor nutricional y un elevado porcentaje de fibra (3,00%) (Apaza et al., 2013).

Figura 2

Granos de quinua variedad blanca Junín.



Nota. Tomado de “Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú” por Apaza et al. (2013).

1.2.3. Taxonomía

Según el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP (2011), la taxonomía de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) variedad blanca tiene la siguiente taxonomía:

Clase	: Angiospermas
Subclase	: Dicotiledóneas
Orden	: Centrospermales
Familia	: Quenopodiáceas
Género	: <i>Chenopodium</i>
Especie	: <i>C. quinoa</i>
Nombre científico	: <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.
Nombre común	: Quinua

1.2.4. Composición nutricional

La quinua es una fuente rica de proteínas, fibra, minerales, vitaminas y lípidos. Además, la quinua contiene una cantidad significativa de minerales. Esta composición varía según diversos factores como ecotipo, variedad, madurez biológica, localización del cultivo y composición del suelo (Navruz-Varli y Sanlier, 2016). Por otro lado, Hussain et al. (2021) señalan que no todos los componentes de la quinua son beneficiosos para la salud, debido a que posee factores antinutricionales como es el caso de las saponinas

(que se encuentran en altas cantidades), ácido fítico, taninos, inhibidores de tripsina, nitratos y oxalatos. Además, el ácido fítico de la quinua puede unirse a minerales, proteínas y almidón, disminuyendo así su absorción, digestión, solubilidad y funcionalidad (Pilco-Quesada et al., 2020).

Tabla 1

Composición nutricional de la quinua (g/100 de porción comestible)

Nutrientes	Quinua cruda ^a min-máx. (n)	Quinua sin Cocer (a)	Maíz amarillo (b)	Trigo duro Blanco (c)	Arroz crudo blanco pulido (c)
Energía (KJ)	1505 1399-1609 (n=34)	1493	1531	1436	1501
Energía (Kcal)	357 333-381 (n=34)	340	354	340	354
Humedad	10,1 8,2-13,1 (n=64)	13,3	10,4	9,6	11,7
Proteína	13,1 9,1-15,7 (n=37)	14,1	9,4	11,3	6,8
Ácidos grasos	5,7 4,0-7,6 (n=37)	6,1	4,7	1,7	0,7
Carbohidratos disponibles	59,9 48,5-69,8 (n=34)	57,2	67	63,7	79,7
Fibra dietaria total	11,7 8,8-14,1 (n=7)	7	7,3	12,2	0,6
Fibra cruda	3,3 1,0-9,2 (n=23)	NA	NA	NA	NA
Ceniza	3,3 2,0-7,7 (n=37)	2,4	1,2	1,5	0,5

Nota. Adaptada de (a) Un BioFoodComp2.1, (b) Base de datos de nutrientes USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Investigación Agrícola, 2013), (c) Fuente de datos ASEAN tabla de composición de alimentos (Instituto de Nutrición, Universidad de Mahidol, 2014) citado por Nowak et al. (2016).

a. Proteína

Repo-Carrasco y Encina (2008) mencionan que las proteínas de quinua son principalmente del tipo albúmina y globulina. Estas tienen una composición balanceada de aminoácidos esenciales parecida a la composición aminoacídica de la caseína, la proteína de la leche. En los reportes de Abugoch et al. (2009), las proteínas presentes en los granos de quinua incluyen albúminas (35%) y globulinas (37%) y un menor porcentaje de prolaminas. Según Dakhili et al. (2019), las proteínas de la quinua constituyen todos los aminoácidos esenciales (triptófano, histidina, isoleucina, leucina,

lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano, tirosina y valina); por esto, se considera un alimento completo.

Tabla 2

Perfil de aminoácidos en quinua y otros cereales

Aminoácidos esenciales (g/100 proteína)	Quinua (1)	Trigo (2)	Arroz (3)	Patrón (FAO/WHO) (4)
Histidina	2,9	2,3	2,1	1,6
Leucina	5,9	6,8	8,2	1,9
Isoleucina	3,6	3,6	4,1	1,3
Lisina	5,4	2,7	3,8	1,6
Metionina + cisteína	3,6	4,2	3,6	1,7
Fenilalanina + tirosina	6,1	7,8	10,5	1,9
Treonina	3,0	2,9	3,8	0,9
Valina	4,2	4,4	6,1	1,8
Triptófano	1,2	1,3	1,1	0,5

Nota. Tabla de perfil de aminoácidos de la quinua, trigo y arroz adaptado de (1) (Elsohaimy et al., 2015; USDA 2015), (2) (USDA, 2015), (3) (Koziel, 1992) y (4) (FAO, 1985; WHO, 1985) citado por Dakhili et al. (2019).

La lisina constituye el aminoácido limitante principal en la mayoría los cereales; sin embargo, en los granos andinos no se han identificado deficiencias importantes de este compuesto. Repo-Carrasco et al. (2011) señalan que la quinua posee concentraciones de lisina al doble que en el trigo. Asimismo, la FAO (2011b), indica que entre el 16 y el 20% del peso de una semilla corresponde a proteínas de elevado valor biológico, ya que contienen aminoácidos esenciales que el organismo no puede sintetizar y deben obtenerse mediante la dieta. Además, el perfil aminoacídico de la proteína presente en la quinua satisface los requerimientos recomendados para niños en etapa preescolar, escolar y también para adultos.

b. Carbohidratos y Fibra

La semilla de quinua es conocida por reducir los ácidos grasos libres y los efectos hipoglucémicos, lo que se traduce en un efecto nutricionalmente beneficioso a través de sus carbohidratos. Estos se pueden clasificar en azúcares simples (monosacáridos, disacáridos), oligosacáridos o polisacáridos (almidones) según su grado de polarización (Hussain et al., 2021). El almidón es el componente clave en la semilla de quinua y constituye hasta el 70% de la biomasa de la semilla. Está compuesto de dos polímeros: amilosa, que es un polímero lineal en el que las unidades de glucosa están unidas entre sí con enlaces α (1 \rightarrow 4), y amilopectina, que es un polímero ramificado que tiene

cadenas de estructura básica similares a la amilosa que se organizan para formar una estructura ramificada a través de la inserción de cadenas laterales por medio de enlaces α (1 \rightarrow 6) (Contreras-Jiménez et al., 2019; Kierulf et al., 2020). La quinua se considera generalmente una fuente esencial de fibra. Varía entre 1,14 y 16,32 % (Repo-Carrasco, 1998)

1.3. GERMINACIÓN

La germinación como fuente de alimento se remonta al año 3000 a. C. con registros del emperador chino Shen Nong Ben Cao Jing que incentivaban su consumo. Los chinos y japoneses germinaban soja y cebada, mientras que los antiguos egipcios consumían bebidas aromáticas germinadas para evitar el escorbuto (Peña et al., 2020).

La germinación es un proceso metabólico y fisiológico en el que la semilla vuelve a realizar su actividad biológica, comenzando por la hidratación del grano seco y concluyendo con la elongación del eje embrionario (radícula). Esta reacción enzimática intensa activa y modifica las reservas internas, lo que favorece la creación de metabolitos primarios y secundarios, disminuye los componentes antinutricionales y, por ende, optimiza la calidad nutricional del grano (Benincasa et al., 2019; Pilco-Quesada et al., 2020; Ramos et al., 2024). Los metabolitos producidos durante la germinación tienen efectos biológicos distintos sobre la salud en comparación con las semillas que no han sido germinadas. Benincasa et al. (2019) menciona que el genotipo es esencial para determinar el valor nutricional de los granos germinados.

1.3.1. Condiciones para una buena germinación

Existen factores que intervienen en la germinación de la semilla, los cuales son:

- **Humedad:** La existencia de un exceso o déficit de agua impide la germinación de las semillas, o por lo menos afecta negativamente a los porcentajes finales de germinación (Pita y Pérez, 2019).
- **Oxígeno:** Es un factor esencial para facilitar la germinación, la penetración de oxígeno en la semilla puede verse obstaculizada por la presencia de compuestos químicos (fenoles) o estructuras especializadas (capa de mucílago). Además, las temperaturas elevadas reducen la solubilidad del oxígeno y el agua, lo que puede obstaculizar la germinación (Pita y Pérez, 2019).
- **Temperatura:** La temperatura es muchas veces el principal factor que controla la germinación. Esta actúa sobre las enzimas que intervienen en el proceso de germinación, afectando tanto la tasa como el porcentaje final de germinación. Un rango de temperaturas habitual para especies de zonas templadas es el

comprendido entre 5 y 25 °C. No obstante, el rango de temperaturas en el cual germinan las semillas de una especie puede variar en función de distintos factores, como son la variedad y el origen geográfico (Pita y Pérez, 2019).

- **Iluminación:** La influencia de las condiciones de iluminación en las semillas va en función de su clasificación como fotosensibilidad positiva, fotosensibilidad negativa y no fotosensible (Pita y Pérez, 2019).

1.3.2. Etapas de la germinación

La germinación tiene tres etapas sucesivas que se superponen parcialmente en:

- **Imbibición (Fase I):** Proceso de absorción de agua por la semilla que se da por las diferencias de potencial hídrico (mátrico) entre la semilla y la solución de imbibición, el tejido de reserva absorbe agua a una velocidad intermedia hasta completar su hidratación (Moreno et al., 2006).
- **Activación enzimática (Fase II):** En esta etapa se da una reducción considerable de la absorción de agua para dar inicio a transformaciones metabólicas necesarias para el completo desarrollo de la plántula (Arenas y Heredia, 2017).
- **Crecimiento (Fase III):** Se asocia con la emergencia de la radícula y paralelamente un incremento de la actividad metabólica, ocurriendo una nueva actividad de absorción de agua (Doria, 2010). Asimismo, Ruiz (2009) menciona que la semilla, al ser hidratada, incrementa su actividad de enzimas hidrogenasas, que da como resultado la liberación de iones hidrógeno, reduciendo a la solución de tetrazolio -2,3,5, triphenil tetrazolium cholride, incoloro- a formazán, color rojo.

1.3.3. Quinua germinada

Durante la germinación de quinua ocurren cambios fisiológicos y morfológicos, debido a que las semillas secas estáticas absorben agua y el sistema de enzimas biológicas naturales dentro de ellas se activa para descomponer los nutrientes primarios, como almidón, proteínas y lípidos, aumentando las concentraciones de ciertas sustancias activas (Thakur et al., 2021). El transporte y distribución de nutrientes entre el embrión y la radícula finalmente enriquecen la composición química de los granos de quinua (Darwish et al., 2021)

Figura 3

Germinados de granos de quinua variedad blanca



Nota. Tomado de “Caracterización de germinado de quinua” por (Cayambe, 2024).

1.3.4. Efecto de la germinación sobre los nutrientes

El proceso germinativo incrementa el valor nutricional, por lo tanto, la germinación puede considerarse como un proceso en el que se brindan beneficios nutricionales a los granos (Arenas y Heredia, 2017). Mejoran eficazmente el contenido de fibra dietética, almidón resistente, capacidad antioxidante, aminoácidos y la biodisponibilidad de proteínas, así como sus propiedades de procesamiento de alimentos y cualidades organolépticas (Paucarchuco y Vilchez, 2024). La germinación ayuda a reducir los componentes antinutricionales y a mejorar la digestibilidad y los aspectos sensoriales del germinado, específicamente en la quinua, la germinación aumenta los niveles de compuestos fenólicos, ácidos grasos insaturados, γ -amino butirato, carotenoides y folatos, a la vez que disminuye la actividad de los inhibidores de tripsina y la concentración de fitatos (Ramos et al., 2024).

Tabla 3

Composición nutricional de la quinua germinada variedad blanca

Composición	Cantidad			
Humedad %	6,94 ^a	2,50 \pm 0,06 ^b	10,25 ^c	8,94 \pm 0,26 ^d
Grasa %	6,1 ^a	3,83 \pm 0,09 ^b	5,13 ^c	6,55 \pm 0,11 ^d
Ceniza %	1,5 ^a	3,36 \pm 0,03 ^b	1,45 ^c	3,66 \pm 0,11 ^d
Proteína %	13,09 ^a	12,34 \pm 0,33 ^b	19,26 ^c	23,36 \pm 4,38 ^d
Fibra cruda %	2,68 ^a	4,58 \pm 0,03 ^b	6,3 ^c	
Carbohidratos %		73,37 \pm 0,27 ^b	50,18 ^c	55,84 \pm 0,52 ^d

Nota. Adaptado de ^a Bravo et al (2013), ^b Bhatta et al. (2017), ^c Padmasharee et al. (2019) y ^d Lavado-cruz et al., (2022) citado por Acosta y Campos, 2024.

a) Proteína

Durante el proceso de germinación, las enzimas proteolíticas degradan las proteínas de reserva presentes en las semillas, liberando aminoácidos y favoreciendo una mayor disponibilidad nutricional. Asimismo, este proceso puede incrementar el contenido de aminoácidos; sin embargo, la magnitud de estos cambios depende del tipo de semilla evaluada. Los aminoácidos generados participan además en procesos metabólicos relacionados con la obtención de energía mediante la oxidación del carbono (Zhou et al., 2018, citado por Lavado, 2022).

Además, las diferentes condiciones de germinación tienen cierto efecto sobre el nivel de proteína de la quinua (Al-Qabba et al., 2020). El incremento de la digestibilidad de la proteína también está relacionado con la reducción de inhibidores de proteasas. Así como de las lectinas y saponinas, que interfieren con la hidrólisis de proteínas, se reducen durante la germinación por degradación enzimática. El aumento de proteína durante la germinación puede deberse a la pérdida de peso seco, ya que algunos carbohidratos y grasa se utilizan durante la respiración, pero también se sintetizan algunos aminoácidos y la pérdida se atribuye a su degradación de proteasas (Pilco-Quesada et al., 2020).

b) Fibra

La fibra dietética corresponde a compuestos que no son degradados por las enzimas digestivas humanas y cumplen funciones importantes en la salud intestinal, contribuyendo a prevenir el estreñimiento y favoreciendo el desarrollo de la microbiota benéfica (Paucarchuco y Vilchez, 2024). En el caso de la quinua, diversos estudios reportan un contenido aproximado de 7–10 % de fibra total, donde entre 1,3 y 6,1 % corresponde a fibra soluble (Ren et al., 2023). Asimismo, se ha observado que la germinación puede incrementar el contenido de fibra dietética. Darwish et al. (2021) reportaron que, después de 72 horas de germinación, el contenido de fibra aumentó de 10,77 % a 12,54 %. Este incremento podría relacionarse con modificaciones estructurales producidas durante el proceso germinativo y con la pérdida de otras sustancias nutritivas (Pilco-Quesada et al., 2020). De esta manera, la germinación podría ser una forma efectiva de mejorar el contenido de fibra en los alimentos.

c) Carbohidratos

Durante la germinación de la quinua, se incrementan las cantidades de azúcares reductores o simples por la hidrólisis del almidón, proporcionando energía necesaria para la síntesis de proteína utilizadas en el crecimiento del embrión. Según Ramírez

(2015), citado por Peña (2020), la degradación del almidón ocurre mediante tres sistemas enzimáticos principales:

- α -amilasa: actúa sobre los enlaces α -(1,4) presentes en la amilosa y amilopectina, disminuyendo el tamaño de las moléculas originales.
- β -amilasa: interviene sobre las dextrinas generadas durante la hidrólisis inicial realizada por la α -amilasa, formando unidades de maltosa.
- Dextrinasas: rompen los enlaces α -(1,6), favoreciendo la liberación de glucosa a partir de la maltosa.

Tabla 4

Contenido de almidón y azúcares en quinua germinada (g/100g)

Tiempo	Glucosa	Almidón
0	1,7	48
1	20,0	46
2	15,0	41
3	14,0	40

Nota. En la tabla se muestra el contenido de almidón y azúcares presentes en la quinua germinada en función de la variación del tiempo. Adaptado de “Cultivos andinos y la alimentación infantil” por Repo-Carrasco (1998).

Los granos germinados presentan mayor actividad metabólica y fisiológica que los no germinados, mientras que los contenidos de almidón, amilosa y amilopectina disminuyen conforme avanza la germinación. En cambio, el contenido de azúcar reductor y azúcar soluble aumenta progresivamente. Esto se atribuye al incremento de la actividad de la α -amilasa, β -amilasa y enzimas desramificantes durante la germinación, las cuales degradan el almidón en azúcares más pequeños, provocando la disminución del almidón total (Peña, 2020).

1.3.5. Usos de los germinados en la industria alimentaria

Además del malteado (que representa un tipo especial de germinación utilizada para la producción de bebidas alcohólicas), las plántulas de cereales se pueden consumir en forma de brotes listos para comer o procesarse aún más, por ejemplo, secarlas o tostarlas. Una posible tendencia es la suplementación del pan de trigo con harina de cereales germinados y pseudocereales. Sin embargo, las altas acumulaciones de actividad enzimática en los cereales germinados deshidratados también se pueden

usar para hacer fideos, pasta, laddu, pan sin levadura y gachas. Las bebidas funcionales, obtenidas por fermentación de ácido láctico de una mezcla basada en granos germinados y harina, representan una posible perspectiva futura. De hecho, los cereales contienen fibra soluble en agua, oligosacáridos y almidón resistente, y por lo tanto se han sugerido para cumplir con las formulaciones probióticas (Benincasa et al., 2019). Por otro lado, el uso de granos germinados se aplica también en los productos extruidos expandidos, ya que mejoran la calidad nutricional y su mayor digestibilidad. Además, la extrusión de granos germinados mejora las propiedades sensoriales. Estudios previos han demostrado que los extruidos de quinua germinada presentan un mayor dulzor, atribuido a la degradación del almidón y la posterior liberación de azúcares reductores durante el proceso de germinación, los cuales también intervienen en la formación de productos de la reacción de Maillard que confieren al extruido un color marrón (Lavado-Cruz et al., 2022).

1.4. CUSHURO (*Nostoc sphaericum*)

Se le conoce con el nombre popular de “Cushuro”, voz quechua que significa “Crespo”, “murmunta”, “llullucha”, “crespito”, “llayta”, etc. González (2006) lo define como un alga que pertenece al género *Nostoc sphaericum*, como aquella que posee células vegetativas de forma esférica, cilíndrica o discoidal, dispuestas en filamentos simples y flexibles. Ponce (2014) señala que este organismo está constituido por agrupaciones de cianobacterias cuyos tonos pueden variar entre verde azulado, verde oliva y marrón. La coloración verde se relaciona con la presencia de clorofila, mientras que el tono azulado proviene de la ficocianina, pigmento involucrado en la fotosíntesis. Asimismo, estas cianobacterias presentan una apariencia semejante a pequeñas esferas gelatinosas y translúcidas, con tamaños que oscilan entre 10 y 25 μm . Suelen organizarse en colonias laminares de forma irregular, característica que favorece la captación de nitrógeno atmosférico y su posterior fijación en las células.

1.4.1. Hábitat

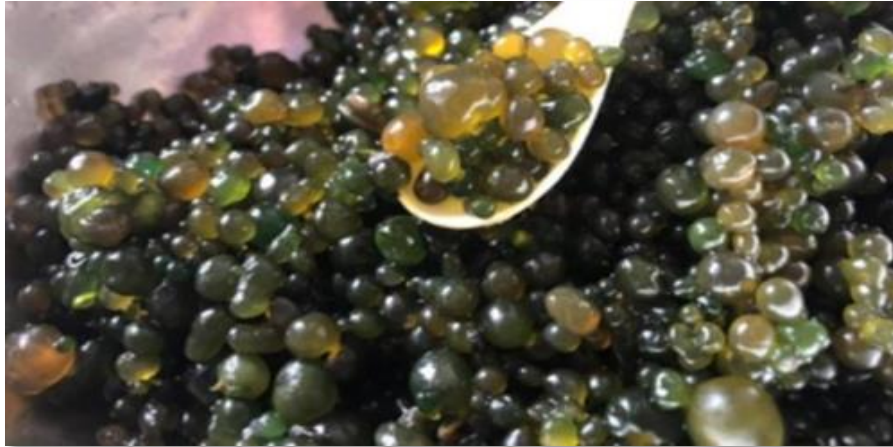
Viven sobre diversos ambientes acuáticos en las zonas alto andinas, tales como lagos, manantiales y otras grandes masas de agua. En sitios elevados que superan los 3000 m.s.n.m. Existen lagunas de aguas puras y cristalinas, abundantes en nitrógeno, lo que promueve el desarrollo de las algas. Especialmente se desarrolla durante la temporada de lluvias, creando colonias esféricas de gelatina (González, 2006). Resisten la sequedad y pueden restaurar fácilmente su metabolismo después de ser rehidratadas porque las células producen grandes cantidades de polisacáridos protectores (Chasquibol et al., 2023).

1.4.2. Variedades

Según Aldave (2015), define cinco variedades de cushuro; *Nostoc sphaericum*, *Nostoc commune*, *Nostoc pruniforme*, *Nostoc parmelioides*, *Nostoc verrucosum*.

Figura 4

El cushuro (Nostoc sphaericum)



Nota. Colonias de *Nostoc sp.*, esféricas de tamaño natural. Tomado de “Cushuro (*Nostoc sphaericum*): Hábitat, características fisicoquímicas composición nutricional, formas de consumo y propiedades medicinales” por Corpus et al. (2021).

1.4.3. Taxonomía

Según el National Center for Biotechnology Information (2014), el cushuro (*Nostoc sphaericum*) tiene la siguiente taxonomía:

Nombre científico	: <i>Nostoc sp.</i>
Dominio	: Bacteria
Filo	: Cyanobacteria
Clase	: Cyanophyceae
Orden	: Nostocales
Familia	: Nostocaceae
Género	: <i>Nostoc</i>
Especie	: <i>Nostoc Sphaericum</i>
Otras especies	: <i>N. Commune</i> , <i>N. Pruniforme</i> , <i>N. Parmeloide</i> , <i>N. Verrucosum</i> .

1.4.4. Composición química del cushuro

El cushuro (*Nostoc sphaericum*) es visto como un alimento de gran valor nutricional, la mayoría de sus variedades tiene un elevado valor proteico y proporciona

la mayor parte de los aminoácidos esenciales. De acuerdo con una investigación del Ministerio de Salud, el cushuro deshidratado posee un porcentaje significativamente superior de proteínas, calcio y hierro en comparación con la carne de cuy, que además posee un mayor contenido de fósforo (Ugás, 2014). El análisis químico proximal del cushuro, tanto deshidratado como hidratado, varía considerablemente debido a los niveles de humedad. Así, el valor nutricional por cada 100 g cambia significativamente de la materia seca del cushuro a su versión fresca (Adriano, 2019). Además de ser nutritivo, se digiere de manera sencilla debido a que no tiene celulosa en su pared celular como las algas eucariotas, lo que permite al organismo humano utilizar la mayor cantidad de nutrientes posibles (Capcha et al., 2020).

Tabla 5

Composición proximal del cushuro fresco en muestra seca y fresca

Componentes	Muestran seca (%)	Muestra fresca (%)
Agua	0	97
Grasas	0,3	0,0009
Proteínas	20	0,6
Fibra	0,9	0,027
Ceniza	4,6	0,138
Carbohidratos	74,2	2,23

Nota. Tomado de Ministerio de Salud, MINSA (2018).

1.4.5. Composición nutricional del cushuro

El cushuro se destaca por su alto valor nutricional, ya que muchas de sus variedades presentan un elevado contenido proteico y suministran una amplia gama de aminoácidos esenciales. Además de sus propiedades nutricionales, se caracterizan por ser de fácil digestión. Según el Centro Nacional de Alimentación y Nutrición (2017) citado por Corpus et al., (2021) el cushuro deshidratado es una microalga andina reconocida por su riqueza en proteínas, calcio y hierro. Por otro lado, Aldave (2015) destaca que el cushuro contiene un (30) % de proteínas, el doble que la quinoa y la kiwicha (15%). Del mismo modo, el contenido de calcio (145/mg) es superior a la leche (20/mg), mientras que su valor en hierro (83,6/mg) supera a la lenteja (7,6/mg), de tal manera que, al contener todos los aminoácidos esenciales, consumirla es comparable a comer carne en cuanto a la cantidad de proteínas que aporta. Además de sus propiedades nutricionales, se caracteriza por ser de fácil digestión, debido a la ausencia

de celulosa en su pared celular, a diferencia de algunas algas eucariotas, lo que permite una absorción más eficiente de sus nutrientes por parte del organismo (Capcha et al., 2020).

Tabla 6

Composición nutricional del cushuro (g /100 g)

Propiedades	Cantidades		
Energía	242 kcal ^a	320,5 kcal ^b	-
Agua	15,1 g ^a	15 g ^b	6,3 g ^c
Proteína	29 g ^a	30 g ^b	25,4 g ^c
Grasa Total	0,5 g ^a	0,5 g ^b	0,8 g ^c
Carbohidratos	46,9 g ^a	50 g ^b	62,4 g ^c
Cenizas	8,5 g ^a	-	5,10 g ^c
Calcio	147 mg ^a	145 mg ^b	1076 mg ^c
Fosforo	64 mg ^a	64 mg ^b	258 mg ^c
Hierro	83,6 mg ^a	83,6 mg ^b	19,6 mg ^c
Vitamina A	-	-	0,01 mg ^c
Tiamina	0,2 mg ^a	0,2 mg ^b	-
Riboflavina	0,41 mg ^a	0,41 mg ^b	-

Nota. Adaptado de ^aCentro Nacional de Alimentación y Nutrición (2017). ^bAldave (2015).
^cGantar (2008) citado por Corpus et al. (2021)

1.4.6. Principales componentes del cushuro

a) Proteínas

El contenido de proteínas en el cushuro es aproximadamente de 30%, siendo su contenido en aminoácidos el más relevante, ya que el 44% son aminoácidos esenciales para el ser humano, en términos de contenido de aminoácidos esenciales (mg/g de proteína) para niños, adolescentes y adultos. El cushuro en polvo presenta un aporte incluso superior de aminoácidos azufrados, como la cisteína y la metionina (Galetovic et al., 2017). La WHO-FAO-UNU (2007) recomienda una ingesta diaria de aminoácidos esenciales de 277 mg/g de proteína. La proteína del cushuro contribuye con cerca del 50% de este requerimiento.

En la tabla 7, se visualiza el contenido en aminoácidos esenciales y la ingesta diaria recomendada por la WHO/FAO/UNU (2007) para niños, adolescentes y adultos

Tabla 7*Aminoácidos esenciales del cushuro e ingesta diaria recomendada*

Aminoácidos esenciales	Contenido en el cushuro (mg/g proteína)	Recomendación (mg/g proteína) *
Histidina	1,3	15
Isoleucina	19,2	30
Leucina	26,4	59
Lisina	26,5	45
Metionina + Cisteína	27,4	22
Fenilalanina+	11,4	38
Triptófano	ND	6
Treonina	0,07	23
Valina	35,1	39
Total, de aminoácidos	147	277

Nota: Calculado en base a un contenido de 30% de proteínas en la biomasa seca del cushuro ND=No disponible. Valores estimados a partir de los criterios propuestos por WHO/FAO/UNU (2007) y Galetovic et al. (2017).

b) Fibra

La fibra en la harina de cushuro está constituida por un conjunto de polisacáridos no digeribles que tienen alta capacidad gelificante y viscosante, que forman parte de la pared celular y de la matriz extracelular de esta cianobacteria. Este polisacárido, debido a su abundancia, posee alta retención de agua (Chasquibol et al., 2025). Según investigaciones realizadas por la MINSA (2018), el cushuro deshidratado contiene 0,9 de fibra. Mendez-Ancca et al. (2023), en su investigación con el *Nostoc sphaericum* proveniente de la laguna de Aruntaya-Moquegua, obtuvo a $0,91 \pm 0,02\%$ de fibra cruda. Sin embargo, para Alegre et al. (2020), el contenido de fibra cruda es de $5,77 \pm 0,11\%$. Esta diferencia en el contenido de fibra posiblemente se deba a las diferentes condiciones ambientales de crecimiento y el método de secado.

c) Carbohidratos

Algunas cianobacterias, especialmente las del orden Nostocales como *Nostoc sphaericum*, producen recubrimientos mucilaginosos ricos en carbohidratos. Estos recubrimientos están compuestos principalmente por azúcares como hexosas, entre las que destacan son la glucosa y la galactosa. Estos azúcares forman una capa protectora

que cumple una función crucial, actuando como barrera frente a factores externos. Su presencia varía según la especie y el entorno del cultivo (Leiva y Sulluchuco, 2018)

1.4.7. Propiedades funcionales de la harina de cushuro

El índice de absorción del agua de la harina de cushuro (*Nostoc Sphaerium*) tiende a ser elevado debido a su capacidad hidrocoloide, que son sustancias altamente hidrofílicas de alto peso molecular, con buena solubilidad en agua e hidratación. Los cuales, al hidratarse, forman estructuras gelificadas. Estos hidrogeles de polisacáridos se utilizan comúnmente en productos alimenticios debido a su capacidad para modificar la reología de sistemas alimentarios complejos, realizar una variedad de funciones tecnológicas y crear productos innovadores para satisfacer las necesidades de los consumidores (Arenas & Chasquibol, 2024; Choque-Quispe et al., 2023). Según Chasquibol et al. (2025), la capacidad de retención de agua del cushuro varía entre $2,8 \pm 0,1$ y $26,3 \pm 0,5$ de agua/g de proteína, la cual está relacionada con las propiedades viscosas del alimento.

1.4.8. Aplicación en la industria alimentaria

Al ser cultivada de manera natural y económica, además de su alto rendimiento como viscosante o estabilizante, permite su consideración como aditivo en la industria alimentaria y mejora en la disponibilidad y accesibilidad a la población en general (Aldave, 2015). Los hidrogeles de polisacáridos se utilizan comúnmente en productos alimenticios debido a su capacidad para modificar la reología de sistemas alimentarios complejos (Arenas & Chasquibol, 2024). Tienen diferentes tipos de metabolitos, como enzimas, vitaminas E y B, β -caroteno, pigmentos y xantofilas como la clorofila, utilizadas en la formulación de caramelos, chicles, enjuagues bucales, entre otros (Mendez-Ancca et al., 2023).

Según Choque-Quispe et al. (2023), el uso del hidrocoloide obtenido del *Nostoc* en la industria alimentaria dependerá de las propiedades físicas y químicas que presente. Por ejemplo, conocer la temperatura de gelatinización permitirá su uso en diversas formulaciones que se aplican en la producción de jugos, yogures y mermeladas. Así mismo, Paucar-Menacho et al. (2023) mencionan que es una materia prima prometedora para aumentar el valor nutricional y la calidad general de la pasta fresca debido a su alto contenido en proteínas. Si bien sigue siendo un alimento básico en la cocina popular o rural de ciertas regiones sudamericanas, por su potencial como ingrediente en los menús de restaurantes o para el desarrollo de productos más saludables en la industria alimentaria.

1.5. MAÍZ AMARILLO (*Zea mays* L.)

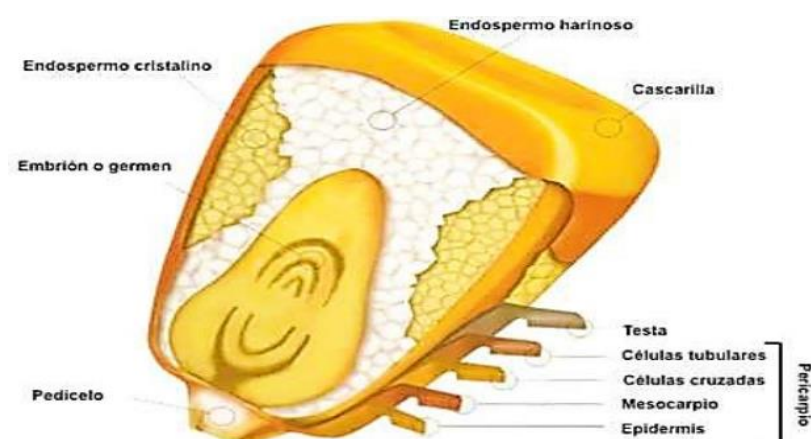
El maíz es un cereal de la familia de las gramíneas, reconocido como uno de los cultivos fundamentales más relevantes y extendidos a nivel global, y representa una de las principales fuentes de alimento para millones de individuos y animales en todo el mundo. Además, debido a su elevado contenido de almidón, se le reconoce como el cereal con más potencial industrial; se utiliza como ingrediente en la producción de una variedad de subproductos como almidón, endulzantes alimenticios, dextrinas, aceite y productos fermentados, como son bebidas alcohólicas, alcohol industrial, dióxido de carbono (CO₂) y biocombustible (Grande y Orozco, 2013). En cuanto a la alimentación humana, el maíz es el tercer cereal en importancia, después del trigo y el arroz; sin embargo, posee un contenido proteínico relativamente bajo y una composición de aminoácidos esenciales desfavorable (Espinoza, 2023)

1.5.1. Estructura del maíz amarillo

Los granos de maíz están cubiertos por el pericarpio; debajo del pericarpio se encuentra una capa de aleurona, la cual es la encargada de dar el color amarillo y contiene proteínas. Además, en su interior se encuentra el endospermo. Esta parte es la más representativa del grano, ya que es el 85 o hasta el 90 % del peso de este grano; además, el embrión está compuesto por la plúmula y la radícula. Asimismo, el almidón se ubica en el endospermo del grano (Espinoza, 2023).

Figura 5

Estructura del grano de maíz amarillo



Nota. Tomado de “Valor nutricional y evaluación de la aceptabilidad de un snack de maíz amarillo (*Zea mays* L.), haba (*Vicia faba*), mijo (*Panicum miliaceum*) y harina de papa (*Dosidicus gigas*)”, por Espinoza, 2023.

1.5.2. Taxonomía

Según la INIAP (2011) el maíz tiene la siguiente clasificación científica.

Clase	: Liliopsida
Subclase	: Panicoideae
Orden	: Poales
Familia	: Poaceae
Género	: <i>Zea</i>
Especie	: <i>Mays</i>
Nombre científico	: <i>Zea mays</i> L.
Nombre común	: Maíz, morochillo, maíz duro amarillo

1.5.3. Composición fisicoquímica del maíz

El maíz posee un alto contenido de carbohidratos, minerales, fibra y sustancias antioxidantes (carotenoides, antocianinas, flavonoides y polifenoles), lo que lo hace vital para la nutrición y salud de una gran población mundial y se presenta como un recurso valioso para luchar contra la escasez de vitaminas y minerales (Durán-Hernández et al., 2011). Por esta razón, la industria ha desarrollado múltiples procesos de transformación para satisfacer las tradiciones y preferencias de los consumidores (Gwirtz & Garcia, 2014). Cabe señalar que, a pesar de sus beneficios, el porcentaje de proteína es menor en comparación con otros cereales, presentando variaciones en los niveles de lípidos y almidón dependiendo de la variedad genética o el grupo racial evaluado.

Tabla 8

Composición fisicoquímica del maíz amarillo

Componentes (g/100g)		Cantidad	
Humedad	10,4 ^a	11,2 ^b	10,89 ^c
Proteína	9,4 ^a	9,3 ^b	8,25 ^c
Lípidos	4,7 ^a	5,2 ^b	4,64 ^c
Cenizas	1,2 ^a	1,5 ^b	1,47 ^c
Carbohidratos	74,3 ^a	69,6 ^b	74,75 ^c
Fibra	-	2,3 ^b	1,91 ^c
Energía (Kcal)	365 ^a	-	373,76 ^c

Nota. Adaptado de ^a U.S. *Department of Agriculture, Agricultural Research Service* (2012). ^b Saavedra (2012). ^c Aro y Calsin (2019) por Verona, 2022.

1.5.4. Almidón

Según el Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola (2012), el almidón constituye el glúcido predominante en el maíz, representando aproximadamente el 72% del peso total del grano y hasta un 85% del peso relativo del endospermo, siendo este último la parte donde se almacena el mayor porcentaje. La relevancia de este polisacárido trasciende su valor energético, ya que determina la funcionalidad tecnológica del grano en la industria alimentaria. Las características fisicoquímicas, tales como la temperatura de gelatinización, la tendencia a la retrogradación, el nivel de amilosa y la morfología del gránulo, varían según el genotipo del maíz y ejercen una influencia directa sobre parámetros críticos como la consistencia, el volumen, la humedad y la estabilidad en anaquel. Asimismo, en el ámbito de la extrusión, el almidón es el componente clave que define atributos sensoriales y físicos, del producto final (Lázaro y Sotelo, 2017).

a) Amilosa y amilopectina en el almidón de maíz.

Los gránulos de almidón de maíz presentan el 25-30% de amilosa y aproximadamente un 70-75% de amilopectina; el almidón presente tiene baja digestibilidad debido a su granulometría y al porcentaje de amilosa, principal factor que da la fácil y rápida digestibilidad (FAO, 2011a). La temperatura a la que el grano de almidón comienza a hincharse rápidamente y a perder birrefringencia se denomina “temperatura de gelificación”, llamada con mayor propiedad “margen de gelificación”. La temperatura de gelatinización del almidón de maíz se encuentra en un rango de 55 a 75°C. Esto indica el punto en el cual los gránulos de almidón comienzan a hincharse y absorber agua de manera irreversible, perdiendo su estructura cristalina (Cheftel, 1986).

Tabla 9

Cantidad y temperaturas de gelatinización del almidón de maíz

Almidón	Amilosa (%)	Temperatura de gelatinización (°C)	Temperatura de gelificación (°C)
Maíz	25-30	62-67	80

Nota. La tabla muestra el porcentaje de amilosa en el almidón de maíz y sus temperaturas de gelatinización y gelificación del almidón de maíz por Burbano, 2018.

1.5.5. Grits de maíz

El grits es una sémola de maíz que se forma por el fraccionamiento del endospermo duro, que es rico en almidón y no posee la grasa propia del grano de maíz.

Para su elaboración se utiliza el grano de maíz amarillo de endospermo duro, ya que el mismo se torna favorable para la extracción del grits en su forma más pura, considerando que aprovechamos el 60% del grano de maíz para obtener el grits, y durante el proceso de molienda, en un 32% se obtiene harina y germen en un 8%. El grits de maíz es utilizado principalmente como materia prima en la elaboración de alimentos extruidos (botanas) de textura y sabor agradable al paladar, tales como cachitos, doritos, gudiz, tostitos, entre otros, El grits de maíz es un producto que no tiene un sustituto perfecto dentro del mercado de los snacks. Sin embargo, existen otras materias primas de las cuales se pueden elaborar snacks, como por ejemplo plátano, trigo, soya y yuca (Crespín et al., 2013).

Para obtener el grits, el maíz pasa por un proceso de germinación en el que se utilizan dos técnicas de molienda: seca y húmeda, esto según el producto que se desee obtener. Se emplea la molienda húmeda para la elaboración de etanol, miel de maíz, etc., mientras que por la molienda seca se obtiene el grits de maíz para la fabricación de snacks o botanas, hojuelas de maíz (cereales) (Crespín et al., 2013).

1.5.6. Composición nutricional del grits de maíz

La siguiente tabla muestra la composición de la estructura de los grits de maíz. Se observa que la humedad es del 13,820%, se percibe que la humedad de este producto no debe exceder el 13%. Además, su alto contenido de fibra dietética es considerable y es el cuarto componente más abundante y ofrece beneficios cuando se consume (Lázaro y Sotelo, 2017).

Tabla 10

Composición proximal de grits de maíz

Componentes	(%)
Proteína	12,259 ± 0,009
Humedad	12,820 ± 0,012
Ceniza	1,235 ± 0,002
Fibra dietética	8,199 ± 0,043
Carbohidratos	60,756 ± 0,022
Grasa	3,731 ± 0,035

Nota. Tomado de “Optimización por diseño de mezclas de un snack de grits de maíz amarillo (*Zea mays*), Harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y harina de garbanzo (*Cicer arietinum*) obtenido mediante extrusión” por Lázaro y Sotelo, 2017.

1.6. LA EXTRUSIÓN

1.6.1. Definición

La extrusión se define como un proceso termomecánico mediante el cual los materiales experimentan transformaciones fisicoquímicas debido a las fuerzas térmicas y mecánicas producidas por los tornillos giratorios y los barriles acondicionados. Posteriormente, el material es impulsado a través de una abertura restringida. Este procedimiento continuo depende de una combinación de múltiples operaciones dentro de una misma unidad, entre ellas el transporte, compresión, mezcla, corte, plastificación, fusión, cocción, la desnaturalización, la fragmentación, la texturización y la conformación reactiva, así como procesos de funcionalización y separación, etc. (Azad, 2016).

El procedimiento puede realizarse de manera óptima en frío o en calor. En la extrusión en caliente, se emplea un sistema de calefacción para incrementar la temperatura, lo que facilita la creación de productos de baja densidad y baja humedad, como aperitivos o snacks, así como productos más densos que luego son sometidos a un secado (Aburto y Taboada, 2019).

La aplicación de la tecnología de extrusión en la producción de alimentos ofrece numerosas ventajas. Por ejemplo, la boquilla de la extrusora puede diseñarse con diversas estructuras complejas, lo que permite obtener alimentos extruidos con distintas formas, como varillas, bolas, tubos, cilindros curvos y conos. Se pueden añadir ingredientes funcionales o nutrientes fortificados, como vitaminas y minerales, para mejorar el valor nutricional de diferentes alimentos y satisfacer las necesidades nutricionales de grupos específicos, como lactantes y personas mayores. Además, la extrusión puede utilizarse como método de pretratamiento para mejorar las características de procesamiento de las materias primas o las características funcionales de los ingredientes alimentarios (Huang et al., 2022).

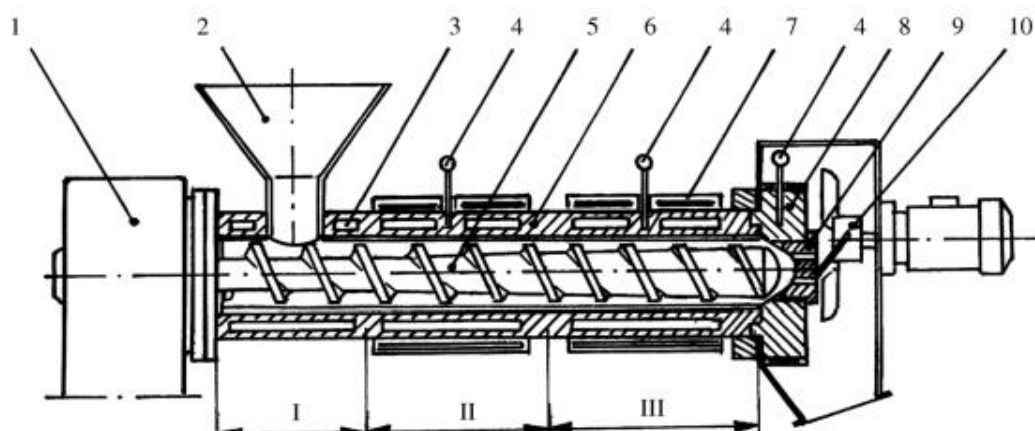
1.6.2. Descripción general del proceso de extrusión

La cocción por extrusión representa una de las tecnologías de procesamiento de alimentos más convenientes para la industria alimentaria, debido a su ventaja de generar productos con sabor, textura, tamaño y forma que satisfacen a los consumidores. Mediante el proceso de la extrusión, los ingredientes crudos se transforman en productos listos para el consumo de manera eficiente, rápida y continua. El equipo utilizado para la extrusión puede ser de uno o doble tornillo, y según su gasto térmico puede ser para extrusión en frío o termoplástica. El equipo de dos tornillos es más ventajoso, ya que ofrece un mayor rango operativo, debido a las altas velocidades

de operación, presenta gran capacidad de mezclado y desgasificado, así como también menor riesgo de obstrucción, lo que resulta en una mejor consistencia y calidad del producto final. Los componentes principales de una extrusora incluyen una tolva de alimentación, un cilindro, uno o más tornillos, una boquilla, una cuchilla y la carcasa que aloja los tornillos, los cuales son accionados por un motor. En ocasiones, también incluye un preacondicionado para ajustar la humedad del material (Mironeasa et al., 2023).

Figura 6

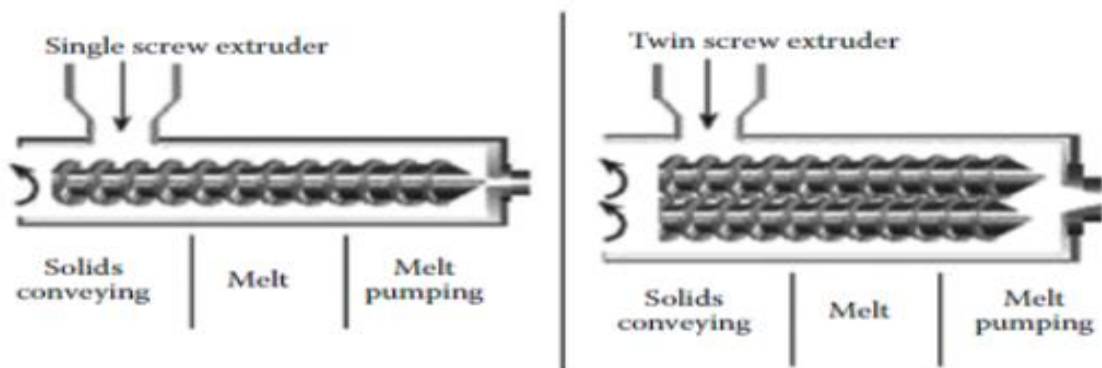
Sección transversal de una extrusora de alimentos de un solo tornillo



Nota. 1 – motor, 2 – alimentador, 3 – camisa de refrigeración, 4 - termopar, 5 - tornillo, 6 - cilindro, 7 - camisa de calentamiento, 8 - cabezal, 9 - matrices, 10 - cortador, I - sección de transporte, II - sección de compresión, III - sección de fusión y plastificación por Moscicki & Van, 2011.

Figura 7

Diagrama que muestra la posición de extrusor de tornillo simple y doble



Nota. Tomado de “Aplicaciones de la tecnología de extrusión de alimentos” por Sule et al. (2024).

El extrusor consta de tres zonas: la sección de alimentación, las secciones de transición y de medición. En la parte inicial del barril (zona de alimentación), la materia prima entra en la extrusora a través de la cavidad de alimentación y es transportada hacia adelante en el cilindro por una fuerza del tornillo sin fin giratorio; la temperatura en esta sección varía de 30 a 70 °C. Es muy importante que la alimentación sea constante para garantizar la calidad del producto final. Posteriormente, mediante la energía de cizallamiento, el material se amasa y comprime aún más (zona de amasado), eliminando el aire presente, lo que resulta en una mayor refinación y homogenización. Mediante la fricción y el calentamiento adicional del barril a 110°C a 200 °C, alcanza su punto de fusión y se plastifica, especialmente en la parte final de la máquina (zona de cocción) (Mościcki & Van, 2011). A medida que el material almidonado plastificado sale de la matriz de la extrusora, las burbujas de aire atrapadas en la matriz se expanden debido a la caída instantánea de presión. Además, al calentar el material extruido a temperaturas superiores a 100 °C, se produce una evaporación de humedad a la salida de la extrusora, lo que mejora aún más su efecto inflado. La expansión cesa al enfriarse, momento en el que la matriz plastificada se vuelve vítrea y adquiere una textura crujiente y deseable (Pasqualone et al., 2020).

1.6.3. Factores que influyen en la extrusión

a) Condiciones de operación

- **Temperatura:** La temperatura de extrusión caliente puede oscilar entre 99°C y 200°C, dependiendo del tipo de extrusor utilizado. La temperatura del producto está directamente relacionada con los extrusores de menor capacidad de alimentación. Además, los extrusores de altas capacidades pueden ser inversos, ya que, al calentar la pared, se reduce la viscosidad de la masa, el esfuerzo de corte y la capacidad de bombeo del tornillo, mientras que la transferencia de calor dentro de la masa es mínima debido a la existencia de flujos laminares (Remache, 2016).
- **Velocidad de tornillo:** La velocidad del tornillo juega un papel crucial en el procedimiento de extrusión, dado que influye en el tiempo de permanencia del producto, la cantidad de calor producido por fricción, las velocidades de transmisión de calor y las fuerzas de rotación en el producto. El aumento en la velocidad del tornillo provoca igualmente un aumento en la relación de expansión para los extruidos (Remache, 2016).
- **Presión:** Durante el proceso de extrusión, las presiones elevadas provocan la pérdida de agua a través de la vaporización, resultando en un producto con una

actividad de agua reducida y, por ende, más resistente. En cambio, si se opera con presión reducida, el producto que emerge del troquel será de alta humedad y alta densidad, pero requerirá de otros procedimientos como el secado (Remache, 2016).

- **Diámetro de orificio:** Cuando los orificios de los dados son más pequeños, aumenta el grado de expansión del producto; la humedad de la mezcla es esencial para la crujencia o textura, y el aumento del contenido de proteína en la mezcla disminuye las oportunidades de una extrusión con expansión (Cadena et al., 2022).

b) Propiedades de las materias primas

- **Contenido de humedad:** El grado de humedad en la masa influye de manera notable en la viscosidad aparente, la expansión y la resistencia a la rotura del producto extruido. La elevada humedad y las altas temperaturas provocan la gelatinización del almidón y elevan la viscosidad del producto final (Guy, 2001). El contenido de humedad de la materia prima no debe ser demasiado alto, generalmente entre el 10 % y el 40 % (Vílchez et al., 2012). Salas (2003) menciona que la mezcla con un contenido de humedad superior al 40% influye en su expansión, resistencia a la ruptura del producto y textura.
- **Tamaño de la partícula:** El tamaño ideal de las partículas para la extrusión no es un estándar, depende de la configuración del equipo y de la materia prima, dado que el tamaño de las partículas del producto a extruir es crucial para su procesamiento y es preferible trabajar con tamaños gruesos (dado que demoran la gelatinización hasta justo antes de salir del dado), mientras que no es aconsejable manipular harinas o partículas de tamaño reducido, dado que éstas se funden rápidamente y no favorecen el transporte del material al interior del extrusor. Las partículas pequeñas provocan una gelatinización rápida y una viscosidad reducida del líquido, características que no resultan beneficiosas (Vílchez et al., 2012).

1.6.4. Cambios nutricionales durante la extrusión

a) Cambios en el almidón

La gelatinización es el principal impacto de la extrusión en caliente en el almidón. Durante este proceso, el almidón se gelatiniza, es decir, los gránulos absorben agua, se expanden y pierden su organización cristalina. Debido a esta modificación estructural, el almidón se vuelve fácilmente digerible y aumenta su disponibilidad como fuente de energía (Maskan & Altan, 2012). Según Pérez (2019), este cambio ocurre a niveles de

humedad bajos (12-22%). El proceso de gelatinización del almidón se acelera al aumentar la temperatura, el esfuerzo de corte y la presión dentro del almidón (Maskan & Altan, 2012). Igualmente, la mayoría de investigaciones admiten que el almidón gelatinizado tiene un rol crucial en la expansión, dado que otorga una mayor capacidad de retención de gas a la masa extruida; por lo tanto, potencia la expansión del producto (Moscicki & Van 2011). Es importante destacar que el límite mínimo de almidón permitido en la formulación de ingredientes para conseguir un producto con excelente expansión es del 60 al 70% (Bordoloi & Ganguly, 2014).

b) Cambios en las proteínas

Durante el proceso de extrusión, las proteínas experimentan múltiples transformaciones fisicoquímicas. Entre la más importante se encuentra la desnaturalización de las proteínas globulares, proceso que provoca la pérdida de sus estructuras secundarias y terciarias. Este es el caso más relevante, en el que las proteínas de elevado peso molecular pueden disociarse en subunidades más reducidas, lo que incrementa su solubilidad en agua, especialmente bajo condiciones de alta temperatura y elevado esfuerzo de cizalla. Por otro lado, se producen más lugares accesibles para el ataque enzimático (proteasas), lo que beneficia positivamente el nivel de digestibilidad del producto (Maskan & Altan, 2012).

Incorporar proteínas en las formulaciones incrementa el valor nutricional de los snacks extruidos, gracias a la inclusión de aminoácidos fundamentales como la lisina, que es el aminoácido más restringente en los cereales (Philipp et al., 2017). No obstante, es importante destacar que, al exponer las materias primas a altas temperaturas de extrusión, se producen reacciones de Maillard. En estas reacciones, los azúcares reductores, originados por la dextrinización del almidón y la sacarosa, interactúan con la lisina de forma que reducen así el valor nutricional de la proteína (Guy, 2001). La proteína es un indicador de almidón (a mayor índice de proteína, menor almidón) y tiene la capacidad de influir en la expansión a niveles superiores. Durante la extrusión, las fuerzas de cizallamiento causan la ruptura de los enlaces covalentes de las proteínas, formando partículas de forma cilíndrica y glóbula de pequeño tamaño. Según Brennan (2011), menciona que cuando las proteínas se encuentran en concentraciones superiores al 15% de la mezcla, disminuyen la expansión de la burbuja del almidón al salir de la boquilla, limitando la expansión final del producto.

c) Cambios en los lípidos

A altas temperaturas de extrusión ocurre la desnaturalización de las lipasas, lo que evita la hidrólisis de los triglicéridos y, en consecuencia, la oxidación de ácidos grasos libres que se mantienen atrapados en el almidón. Esta encapsulación mejora la biodisponibilidad de los lípidos al facilitar la acción de las enzimas, así como también evita su oxidación inmediata, mejorando su calidad nutricional y sensorial (Guy, 2001).

Joy & Vernaza (2025) sostiene que la existencia de lípidos en la materia prima en volúmenes inferiores al 3% no influye en las características de expansión. No obstante, en volúmenes que superan el 5%, la disminución en la tasa de expansión es significativa. De acuerdo con (Cheftel, 1986), los niveles elevados de lípidos impiden la expansión. En cambio, los niveles reducidos del 5% de lípidos promueven la extrusión constante y optimizan la textura. Durante la extrusión, el valor nutricional de los lípidos podría ser alterado debido a la oxidación, hidrogenación, isomerización o polimerización.

d) Cambios en las fibras

La influencia de la extrusión en caliente puede generar alteraciones en sus propiedades estructurales y fisicoquímicas de la fibra. Cuando este proceso se realiza con bajos niveles de humedad (<20%) y temperaturas superiores a 110°C, se genera un perjuicio al material alimentario debido al elevado esfuerzo de cizalla producidas. Según lo reportado por Moscicki & Van (2011), esto ocasiona la transformación de una considerable cantidad de fibra insoluble en fibra soluble. Este efecto surge de la desintegración de los enlaces covalentes y no-covalentes entre los carbohidratos y las proteínas vinculadas a la fibra, generando fragmentos moleculares de menor tamaño y con mayor solubilidad; elevando el Índice de Solubilidad en Agua (ISA) del producto extruido (Ramachandra & Thejaswini, 2015). A diferencia de las proteínas y el almidón, la fibra es un polisacárido que se adhiere con fuerza al agua durante el proceso de extrusión, lo que reduce la pérdida de humedad de la matriz y favorece una menor expansión junto con un aumento de la densidad aparente. De acuerdo con Mian & Galen, (2012) mencionan que en la extrusión no es recomendable adicionar más del 5% de fibra, ya que podría causar un impacto perjudicial en el índice de expansión.

1.7. SNACKS EXTRUIDOS

1.7.1. Definición de Snack

"Snack" es un término inglés que puede interpretarse como un bocadillo o comida rápida. Son alimentos en cantidades reducidas, individuales, de consumo sencillo y manejo sencillo, que no necesitan preparación antes de consumir y están diseñados para cubrir el hambre entre los alimentos formales (Vilches, 2005). Al principio, los bocadillos expandidos se fundamentaban en el maíz, pero actualmente se elaboran a partir de patatas, trigo, harina de arroz y mezclas de almidones no modificados (Maskan & Altan, 2012).

La evolución de la tecnología de extrusión ha centrado su atención en el enriquecimiento de los productos extruidos con diversos componentes como proteínas, fibra alimenticia o compuestos bioactivos. Las características sensoriales y físicas de los snacks extruidos son significativamente alteradas al incorporar componentes ricos en proteínas o fibra. Aunque el almidón de maíz brinda todas las propiedades para la elaboración de aperitivos extruidos altamente aceptables, su valor nutricional no logra cubrir las demandas de los consumidores preocupados por su salud (Subaric et al., 2014).

1.7.2. Clasificación

Los snacks extruidos se pueden clasificar según varios criterios, tales como las materias primas utilizadas, el tipo de proceso de extrusión y su método de elaboración, permitiendo una diferenciación en sus características sensoriales, nutricionales y estructurales. Los snacks extruidos se clasifican de acuerdo con el proceso de extrusión de la siguiente manera:

- **Extrusión seca:** En este proceso los snacks se caracterizan por su textura crujiente en el que la mezcla de ingredientes ingresa al extrusor con humedades de 10 a 22 % a altas temperaturas y presiones dentro del extrusor lo que provoca la alta expansión y una larga vida útil del snack extruido (Guy, 2001).
- **Extrusión húmeda:** favorece una gelatinización más completa de almidón ya que se trabaja a humedades entre 25 y 40%, por lo es ideal para alimentos funcionales que requieren una mayor preservación de fibra y proteína, lo que mejora el valor nutricional del snack. Son ampliamente utilizados en la elaboración de snacks con texturas más compactas y laminadas con mayor elasticidad (Guy, 2001; Mian & Galen, 2012).

Según Mataix (2012), los snacks extruidos pueden clasificarse en:

- **Snacks convencionales:** Snacks de alta densidad calórica que se consumen principalmente por su sabor y como forma de disfrute, por ejemplo, palitos de maíz.
- **Snacks funcionales:** 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.

Figura 8

Surtido de snack extruidos



Nota. Tomado de “Los snacks inflados y extruidos buscan bases con mejores beneficios nutricionales” por Parker, 2019.

1.8. CONTROL DE CALIDAD DE LOS SNACKS EXTRUIDOS

1.8.1. Requisitos para los snacks extruidos

Según la Norma Técnica Peruana, NTP 209.226 (2023) los snacks extruidos son aquellos que se obtienen de una mezcla de materias primas previamente tratadas que incluyen la harina o harinas y los demás ingredientes que requiere el producto final (sal, azúcar, saborizantes, colorantes y otros), los cuales ingresan al extrusor a una temperatura y presión necesaria para alcanzar su cocción y adoptar la forma requerida, existiendo la posibilidad de un proceso adicional para lograr el acabado deseado (crocantez brillo, picante, entre otros).

a) Características fisicoquímicas de los snacks extruidos

La resolución de la dirección ejecutiva del Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social del Perú N.º D000347-2022-MIDIS/PNAEQW-DE, NTP 209.226 y Norma Técnica Colombiana NTC 3659, establecen requisitos fisicoquímicos para los snacks extruidos / expandidos. Los snacks que se destinan al consumo humano deben ajustarse a los estándares físicos y químicos aplicables a su categoría.

Tabla 11

Requisitos para los snacks extruidos de cereales y leguminosas

Requisitos	valores (%) según	
	NTC 3659	NTP 209.226-20/PNAEQW
Humedad en (%). Máximo	6	5
Ceniza total (%). Máximo	4	4
Proteína (N X 6,25), (%). Mínimo	3	8.5
Carbohidratos, (%) máximo	95	Según normativa vigente
Grasa, (%) máximo	30	Según normativa vigente
Índice de peróxidos meq O ₂ /Kg en grasa extraída, máximo	-	5

Nota. Adaptado de NTP 209.226, 2023; NTC 3659, 2006 y Programa Nacional de Alimentación Escolar Qali Warma por MIDIS, 2024.

b) Características organolépticas de los snacks

Según NTP 209.226 (2023), el snack extruido expresa los siguientes requisitos organolépticos necesarios: deben tener el sabor característico del producto y no presentar sabores extraños, amargos o rancios. Olor: Contribuye a la experiencia sensorial del consumidor. Debe ser agradable y coherente con el tipo de snack. Apariencia visual: La apariencia del snack es lo primero que nota el consumidor. Debe ser atractiva y consistente con las expectativas del producto. Textura en boca: La sensación en boca, incluyendo la crujencia, la suavidad o la dureza, es una parte esencial de la experiencia del consumidor. Sensación táctil: La sensación al tocar el snack también puede ser relevante. Por ejemplo, si un snack deja residuos grasos en los dedos.

1.8.2. Calidad tecnológica de los snacks extruidos

Los alimentos extruidos poseen propiedades tecnológicas que influyen directamente en su calidad. Entre los principales parámetros utilizados para evaluar la calidad tecnológica de un snack extruido se encuentran el índice de expansión (IE), densidad aparente (DA), índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), además de la textura y el color. En conjunto, estas características físicas y tecnológicas permiten determinar la respuesta del producto durante el proceso de extrusión y su comportamiento al momento del consumo (Bravo y Ortega, 2017).

a) Índice de expansión (IE)

El índice de expansión (IE) se define como la relación entre el diámetro radial del material extruido y el diámetro interior de la matriz de extrusión (Muñoz et al., 2022). La expansión constituye un importante indicador de calidad, ya que influye directamente en las propiedades funcionales y en la aceptación del producto final por parte del consumidor. La expansión de productos expandidos ocurre debido al aumento de la fricción en el equipo, generalmente a causa de la mezcla de humedad y temperatura para lograr una masa viscoelástica. Esto provoca una disminución de la humedad de forma abrupta y de inmediato el material extruido se expande hacia la salida del extrusor (Valenzuela et al., 2011). Según Valderrama et al.(2021) indica que para una buena expansión y textura crujiente los valores de 1,4 – 4,0 indican calidad adecuada.

Las materias primas con un contenido relativamente bajo de almidón y elevado de proteína suelen generar productos extruidos que se derrumban al salir de la matriz, reduciendo así el índice de expansión. Por lo tanto, no se aconseja utilizar almidones con un porcentaje de amilosa del 5-20%, con el fin de conseguir extruidos que sean crocantes y de textura aceptable (Muñoz et al., 2022; Ramachandra & Thejaswini, 2015).

b) Densidad aparente (DA)

La densidad tiene una relación directa con la expansión del producto, la cual está vinculada con la temperatura, el contenido de mezcla y la velocidad del tornillo. A mayor temperatura, menor proporción de mezcla y velocidad constante, incrementará la expansión del producto y su densidad. La existencia de proteínas y lípidos son factores que reducen la tasa de expansión y potencian la densidad aparente. Además, es importante destacar que la DA se reduce al aumentar el contenido de amilosa (Muñoz

et al., 2022). Igualmente, al operar combinaciones de alimentos con altas concentraciones de humedad a temperaturas de extrusión bajas, disminuyen el esfuerzo de la cizalla y, en consecuencia, la cantidad de energía mecánica requerida. Así, la capacidad de fusión del almidón se reduce y la densidad del producto se incrementa (Taimal, 2019).

c) Índice de absorción de agua (IAA)

El índice de absorción de agua (IAA) permite estimar la cantidad de sólidos solubles en el extruido y evidencia la intensidad del tratamiento térmico aplicado, considerando fenómenos como la gelatinización, degradación, dextrinización y solubilización del almidón. Asimismo, la IAA indica el grado en que el almidón ha sido transformado en polisacáridos solubles durante el proceso de extrusión (Taimal, 2019).

El Índice de Absorción de Agua (IAA) se utiliza para calcular el volumen que el almidón ocupa después de haberse hinchado en un exceso de agua. Se reduce al aumentar la temperatura del extrusor y se incrementa considerablemente al aumentar la cantidad de mezcla, indicando que la desnaturalización de las proteínas, la gelatinización del almidón e hinchamiento de la fibra cruda, que ocurren durante la extrusión, podrían ser los responsables del incremento del IAA. Adicionalmente, los valores bajos de IAA alcanzados a temperaturas bajas y velocidades del tornillo se deben a una menor disponibilidad de grupos hidrofílicos para adherirse más al agua, lo que provoca una disminución en la capacidad de retención de agua. Esto podría estar vinculado con la degradación del almidón provocada por la extrusión, los cuales son los responsables del aumento del IAA (Parra, 2005). Según Taimal (2019), valores entre 4,16 a 5,61 g gel/g muestra indican buena gelatinización y estructura del extruido, favoreciendo textura y funcionalidad.

d) Índice de solubilidad en agua (ISA)

El índice de solubilidad en agua indica la cantidad de sólidos que se disuelven en el agua cuando una muestra se expone a un exceso de este líquido. De igual forma, señala el nivel de cocción del grano utilizado para la elaboración de la harina. El ISA se relaciona con la existencia de moléculas solubles de almidón, lo que significa que a un ISA inferior se produce una degradación más lenta del almidón, lo que resulta en un número reducido de moléculas solubles en los extruidos. Esto está vinculado con la dextrinización (Tovar et al., 2017).

Como es sabido, el almidón autóctono prácticamente no retiene agua a temperatura ambiente y su aporte a la viscosidad es casi inexistente. No obstante, el almidón extruido absorbe agua con rapidez, generando una pasta a temperatura ambiente, sin necesidad de calentamiento. Esta pasta se compone de macromoléculas solubilizadas, además de partículas que han sido entumecidas por agua (gel). Estas características se ven enormemente afectadas por el tamaño de las partículas: a menor tamaño de las partículas, la velocidad y el grado de solubilización se incrementarán. Se pueden entender tanto los valores de IAA como los de ISA basándose en las interacciones de almidón, las cuales están regidas por la estructura de la fase sólida del almidón procesado (Morales, 2019). Igualmente, la inclusión de alimentos con elevados niveles de fibra incrementa el ISA del extruido, dado que durante el proceso de extrusión la fibra aumenta su solubilidad (Taimal 2019). Según Bravo y Ortega (2017), valores entre 18 y 30 % indican suficiente degradación del almidón, textura crujiente y buena digestibilidad.

e) Textura instrumental

La textura es una de las cualidades sensoriales más importantes en los extruidos, ya que, desde una perspectiva psicofísica, comprende un conjunto de propiedades físicas percibidas a través de los sentidos del tacto y del gusto (Charkraborty et al., 2009).

En el ámbito de snacks expandidos extruidos, los atributos sensoriales empleados para establecer el perfil de textura de un producto incluyen: la dureza, la crujencia y la capacidad de fractura. Además, diversas investigaciones han detectado la relación entre la dureza y la densidad aparente, así como la crujencia y la expansión seccional de los productos extruidos (Ding et al., 2005; Majumdar & Singh, 2012).

Dureza: Las propiedades texturales de los extruidos elaborados con subproductos alimentarios suelen evaluarse mediante parámetros como la dureza, la crocancia y la fragilidad. Estas características se determinan a partir de la fuerza necesaria para provocar la ruptura del extruido (Maldo & Conti-Silva, 2014). La dureza de los snacks se ve afectada por varios factores, como el aumento en la humedad, que aumenta la firmeza del producto, dificultando la penetración de la aguja en el analizador de textura; además, el aumento de la fibra y la proteína que interfieren con la formación de burbujas de aire, que aumenta el grosor de la pared celular (Maskan & Altan, 2012).

Crujencia: Se conoce al ruido generado por el extruido al momento de masticarlo. Dicho atributo mantiene una relación directa con la expansión y la estructura celular del

producto. Un producto con mayor crujencia se obtiene cuando este presenta menor densidad, una pared celular delgada, un tamaño y número de celdas mayor de hecho, se requiere menos fuerza para romper un producto muy crujiente (Maskan & Altan, 2012).

Fracturabilidad: Se señala a la fuerza necesaria para romper los snacks extruidos. Este atributo se relaciona con la dureza, siendo los snacks extruidos más deseables aquellos que presentan valores bajos (Maskan & Altan, 2012).

Tabla 12

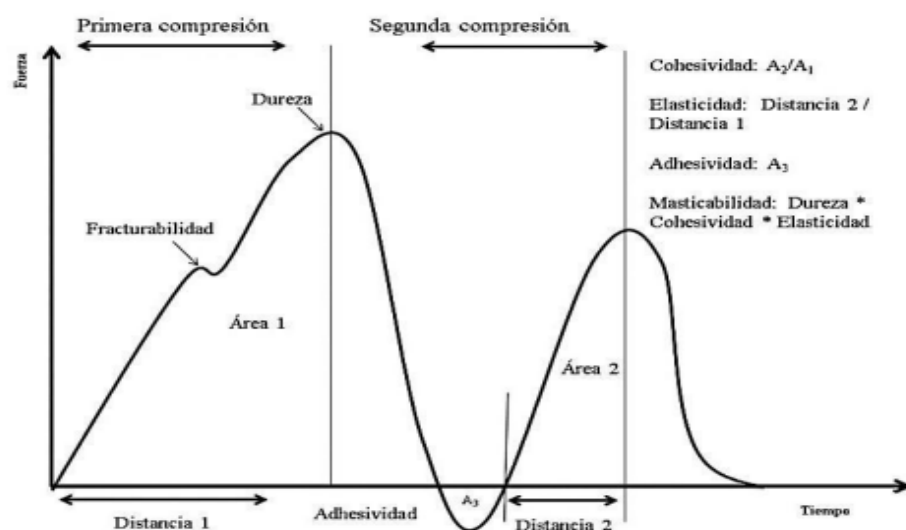
Parámetros de análisis de textura

Parámetro	Definición	Determinación	Unidad
Fracturabilidad	Fuerza necesaria para fracturar la muestra	Fuerza en la primera ruptura significativa de la muestra	Newton (N)
Dureza	Fuerza necesaria para lograr una deformación determinada	Máxima fuerza durante el primer ciclo de compresión	Newton (N)
Adhesividad	Trabajo necesario para vencer la fuerza de atracción entre la muestra y una superficie	Área negativa después del primer ciclo de compresión. Representa el trabajo necesario para separar la superficie del equipo y la muestra	Joule (J)

Nota. Por (Torres et al., 2015) citado por Carvajal, 2018.

Figura 9

Gráfico general del análisis del perfil de textura



Nota. Tomado de Hleap & Velasco, 2010.

Los texturómetros son uno de los instrumentos de ensayo instrumentales que facilitan la realización de un análisis de perfil de textura (TPA) en un producto específico. Estos simulan las condiciones de masticación y generan una curva basada en las variables de fuerza-tiempo (Figura 9). Se calcula que la fuerza máxima durante la primera compresión es la dureza, mientras que la fuerza obtenida en el primer pico de la curva se atribuye a la capacidad de fracturación (Maskan & Altan, 2012).

f) Color instrumental

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

En formulaciones, especialmente snacks adicionados con un 37% de quinua, al ser sometidos a calor seco excesivo y altas fuerzas de cizallamiento, se produce dextrinización en el almidón, que se descompone en dextrina, alterando el color de los productos extruidos a un tono entre amarillo y marrón (Muñoz et al., 2022). Esto podría deberse a reacciones no enzimáticas como la de Maillard y la caramelización entre las moléculas de proteína y almidón, lo que resulta en una menor luminosidad y un mayor enrojecimiento y amarilleamiento en extruidos enriquecidos con proteína (Pavani et al., 2024).

1.9. ATRIBUTOS DE CALIDAD SENSORIAL

La evaluación sensorial se define por el Instituto de Investigación Alimentaria (IFT) como: "La disciplina científica empleada para evocar, medir, examinar e interpretar las respuestas a las propiedades de los alimentos y otras sustancias, que son detectadas por los sentidos visual, olfato, gusto y oído" (Carretero, 2014).

Las características organolépticas del extruido se definen por su textura, aspecto y gusto, que son los atributos sensoriales más destacados; especialmente la textura, es un atributo clave que afecta la aceptación del consumidor, ya que una textura inusual puede generar rechazo del producto (Ruiz et al., 2017). Por lo tanto, esta prueba se fundamenta en el nivel de aceptación o desaprobación del producto por el consumidor, ya sea al compararlo con uno del mercado, con un producto reciente con distintas

formulaciones o simplemente modificando alguno de los elementos con el objetivo de optimizarlo. Es necesario tener bien definido el objetivo y el elemento o característica que se va a evaluar.

1.9.1. Pruebas afectivas

Las pruebas afectivas permiten evaluar la percepción subjetiva del consumidor frente a un producto, considerando aspectos como agrado, desagrado, aceptación, rechazo o preferencia respecto a otras alternativas. Este tipo de prueba suele presentar una alta variabilidad en los resultados debido a que las respuestas dependen de criterios personales de cada evaluador, lo que puede dificultar su interpretación. Para desarrollar estas pruebas se recomienda la participación de al menos 30 jueces no entrenados, quienes deben ser consumidores habituales o potenciales del producto alimenticio evaluado (Pérez, 2019).

1.9.2. Pruebas de satisfacción

Cuando se evalúan más de dos muestras simultáneamente, o cuando se busca obtener más datos sobre un producto, se pueden utilizar las pruebas de evaluación del nivel de satisfacción. Estos son esfuerzos para gestionar de manera más objetiva información tan personal como las respuestas de los jueces respecto a cuánto les agrada o les desagrada un alimento. Para realizar estas pruebas se emplean las escalas hedónicas, que son herramientas de evaluación de las sensaciones placenteras o desagradables generadas por un alimento al que se le somete (Anzaldúa, 1994).

1.9.3. Pruebas hedónicas

Es el método utilizado para poder determinar el nivel del gusto de los productos alimenticios por el público consumidor. Puede ser usada en pruebas de aceptación. El método permite reportar directa y confiablemente los sentimientos de agrado o desagrado de los panelistas. Los puntajes obtenidos en la escala hedónica son convertidos en puntajes numéricos para poder aplicarlo en un método estadístico y así poder determinar el grado de aceptabilidad en las muestras (Anzaldúa, 1994).

La escala hedónica varía desde un puntaje alto hasta un puntaje mínimo de desagrado, incluyendo un punto intermedio que indica neutralidad. Por otro lado, la escala gráfica emplea imágenes de rostros o expresiones faciales para representar las respuestas. (Anzaldúa, 1994).

Tabla 13

Escala hedónica empleada en la evaluación sensorial

Puntaje	Descripción
7	Me gusta mucho
6	Me gusta moderadamente
5	Me gusta poco
4	Ni me gusta ni me disgusta
3	Me disgusta poco
2	Me disgusta moderadamente
1	Me disgusta mucho

Nota. Tomado de “La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica” por Anzaldúa, 1994.

1.10. MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS

De acuerdo con Gutiérrez y De la vara (2008), numerosos problemas de investigación y aplicaciones industriales involucran formulaciones obtenidas mediante la combinación de varios componentes. Productos como bebidas, fármacos, detergentes, pinturas, resinas, combustibles y cementos son ejemplos de sistemas compuestos por diferentes ingredientes. En este tipo de mezclas, las propiedades de calidad dependen principalmente de la proporción relativa de cada componente y no de la cantidad absoluta utilizada.

Así mismo, indican que entre los objetivos de un experimento con mezclas se encuentran:

- Determinar cuáles de los ingredientes de la mezcla o interacciones entre ellos tienen mayor influencia sobre una o varias respuestas de interés.
- Modelar las respuestas de interés en función de las proporciones de los componentes de la mezcla.
- Usar dichos modelos para determinar en qué porcentaje debe participar cada uno de los ingredientes para lograr que la fórmula tenga las propiedades deseadas.
- Los experimentos con mezclas son diseños en los que los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla. Las variables de respuesta dependen de las proporciones con las que participan los ingredientes en la mezcla y no de la cantidad de mezcla.

Montgomery (2004) indica que se emplea un diseño experimental cuando los niveles de los factores, que son los elementos o componentes de una mezcla, no son autónomos entre ellos. Por ejemplo, si X_1, X_2, \dots, X_p denota las proporciones de “p” componentes de una mezcla, entonces:

$$0 \leq X_i \leq 1 \quad (1)$$

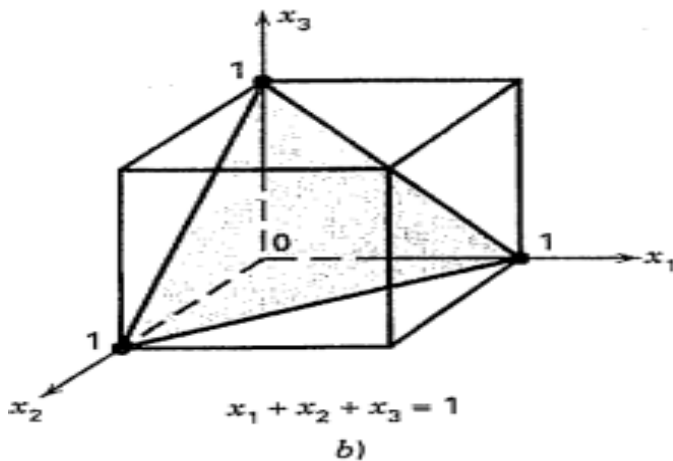
Donde:

$$i=1,2,\dots,p$$

$$X_1+X_2+\dots+X_p=1 \text{ (es decir, 100\%)} \quad (2)$$

Figura 10

Espacio factorial restringido para mezclas con 3 componentes (p=3)



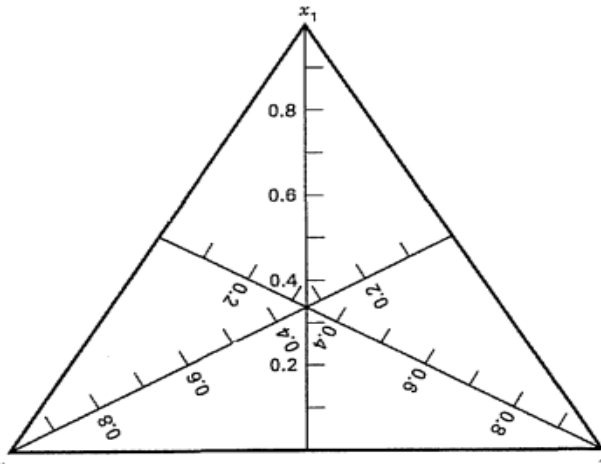
Nota. Tomado de “Diseño y análisis de experimentos” por Montgomery, 2004.

Cuando se trabaja con tres componentes, la región experimental se representa mediante un triángulo, donde cada vértice simboliza una formulación compuesta por un componente puro, es decir, mezclas constituidas al 100% por un solo ingrediente.

En mezclas conformadas por tres componentes, la región experimental puede describirse mediante coordenadas trilineales, como se muestra en la figura correspondiente. En esta representación, cada lado del triángulo corresponde a combinaciones en las que uno de los componentes está ausente, específicamente aquel ubicado en el vértice opuesto. Las líneas de malla en cada sentido señalan aumentos del 10% en los elementos correspondientes. Montgomery (2004) también señala que los niveles de los componentes no se encuentran independientes entre sí; por ejemplo: X_1, X_2 y X_3 indican las proporciones de tres componentes en una mezcla, donde la suma de estos tres elementos es equivalente a 1 o al 100%. El cambio en la proporción de un componente afecta la proporción de los otros dos.

Figura 11

Sistema coordenado trilineal



Nota. Tomado de “Diseño y análisis de experimentos” por Montgomery, 2004.

1.10.1. Restricciones en los componentes de una mezcla

Ya sea por motivos técnicos o económicos, es común que algunos componentes en un experimento de mezclas establezcan restricciones de la siguiente manera:

$$0 \leq a_i \leq x_i \leq b_i \leq 1 \quad (3)$$

En este caso, a_i representa el límite inferior asignado al componente x_i de la mezcla, mientras que b_i corresponde al límite superior establecido para dicho componente. En términos generales, a_i indica la mínima proporción que debe estar presente del componente i en todas las formulaciones evaluadas, mientras que b_i define la máxima proporción permitida. Habitualmente, estas restricciones delimitan la región experimental factible, reduciéndola a una determinada zona o subregión del simplex (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

Según Kuehl (2000), los principales diseños aplicados a mezclas son los siguientes:

a) Diseño de retícula Simplex

Se denomina retícula a la agrupación que consta de una distribución homogénea de coordenadas de diseño en un sistema simplex. Los diseños de retícula simplex están formados por un conjunto de coordenadas de diseño estructuradas de tal forma que facilitan la estimación de las ecuaciones polinomiales de la superficie de respuesta. La asignación $\{k, m\}$ se aplica en un diseño de retícula simplex con k elementos para calcular una ecuación polinomial de respuesta de grado m en la superficie. Por ejemplo, el diseño de retícula simplex $\{3,2\}$ incluye tres elementos en la combinación para calcular

una ecuación de respuesta cuadrática en la superficie. Las proporciones de cada elemento presentes {k, m) son:

$$x_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, 1 \quad (4)$$

Los diseños consisten en todas las combinaciones posibles de los niveles de x_i , donde $\sum x_i = 1$ para cualquier combinación de proporciones.

b) Diseño simplex con centroide

El diseño simplex con centroide es un diseño en el sistema de coordenadas simplex, compuesto por combinaciones que incluyen 1, 2, 3, ... k componentes en proporciones equivalentes. Por lo tanto, existen k mezclas de un solo componente, todas las mezclas posibles de dos componentes con relación de 1/2 para cada una, todas las combinaciones posibles de tres componentes con relación de 1/3 para cada una, y así sucesivamente, hasta una mezcla de k componentes con relación de 1/k.

c) Diseño simplex con centroide ampliado

Las mezclas utilizadas en los diseños de retícula Símplex y Símplex con centroides se ubican en los límites del espacio de factores Símplex, a excepción de un punto centroide que alberga la mezcla de todos los componentes. Si se incrementan los diseños centroides Símplex con mezclas sobre los ejes del espacio de factores, se pueden lograr mezclas más completas. Los puntos del diseño se sitúan en cada eje, a una distancia equivalente al centro o centroide, en dirección hacia las intersecciones.

1.10.2. Método de la función de deseabilidad

De acuerdo con Derringer & Suich (1980), la metodología de deseabilidad se fundamenta en asignar una función de deseabilidad a cada variable de respuesta y posteriormente integrarlas en una única función global. Este procedimiento permite transformar un problema de optimización multivariable en uno univariable, buscando maximizar la deseabilidad total con el fin de identificar las condiciones óptimas del sistema. Bajo este enfoque, cada respuesta experimental (Y) se convierte en una deseabilidad individual (d) con valores comprendidos entre 0 y 1. Cuando $d=1$, la respuesta se considera completamente aceptable o altamente deseable; en cambio, un valor de $d=0$ indica que la respuesta se encuentra fuera del rango aceptable. Finalmente, la deseabilidad global (D) se determina mediante la media geométrica de las deseabilidades individuales correspondientes a cada variable evaluada (d_1, d_2 y $d_3 \dots d_k$).

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_k)^{1/k} \quad (5)$$

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La ejecución de la investigación se llevó a cabo en ambientes de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, ubicada por el Portal Independencia N°57, Ayacucho; para la obtención de harina de la quinua germinada se utilizó el área de la planta de jugos y conservas. Los análisis proximales necesarios para la caracterización de las materias primas se realizaron en el laboratorio de bromatología-nutrición de la Facultad de Ciencias Biológicas. Los análisis físicos y tecnofuncionales se realizaron en los laboratorios de Tecnología de Alimentos y Análisis de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia. El proceso de desarrollo de los snacks se llevó a cabo en la planta procesadora ANDES FOOD PERÚ S.A.C., ubicada en Jr. Próceres 230, San Juan Bautista, Ayacucho. Asimismo, para el proceso de obtención de la harina de cushuro se solicitaron los servicios de la empresa INMORTAL FOOD, ubicada en Prolongación Arequipa 2453, Huancayo. Por otra parte, la determinación de la textura de los snacks se realizó en el laboratorio OFILAB PERÚ S.A.C., situado en Jr. Libertad 835, Comas, Lima, y los análisis proximales de los snacks extruidos fueron efectuados por el laboratorio La Molina Calidad Total.

2.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue de tipo aplicada experimental; según Aburto y Taboada (2019) es el estudio en el que se manipulan ciertas variables independientes para observar los efectos en las respectivas variables dependientes, con el propósito de precisar la relación causa–efecto, realizar un control riguroso de las variables sometidas a experimentación por medio de procedimientos estadísticos. Las variables

independientes fueron los grits de maíz amarillo, harinas de quinua germinada y cushuro y se evaluó las características proximales, tecnofuncionales y sensoriales de un snack extruido.

2.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

El nivel de la presente investigación fue explicativo, ya que se evaluó el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes.

2.4. POBLACIÓN MUESTRA

2.4.1. Población

La población estuvo constituida por el total de 26 kg snacks extruidos obtenidos durante el proceso experimental, a partir de la extrusión de 36 kg de mezcla de materias primas, compuestas por 26,49 kg de grits de maíz amarillo, 6,19 kg de harina de quinua germinada, 1,18 kg de harina de cushuro y 2,09 kg de insumos, distribuidas en 9 formulaciones.

2.4.2. Muestra

Estuvo conformada por 14 kg de snacks extruidos, seleccionados mediante muestreo aleatorio a partir de la población total, los cuales fueron utilizados para realizar los diferentes análisis y evaluaciones correspondientes a las 9 formulaciones del diseño experimental, considerando las repeticiones establecidas.

2.5. MATERIALES Y EQUIPOS

2.5.1. Materia prima

- Grits de maíz amarillo adquirido de Corina alimentos
- Quinua de variedad blanca adquirido en el mercado Nery-Ayacucho
- Cushuro adquirido de Inmortal Food S.A.C

2.5.2. Insumos

- Stevia marca Herbal Sweet
- Carbonato de calcio
- Sal yodada marca EMSAL marina

2.5.3. Materiales de laboratorio

- Buretas
- Crisoles de porcelana
- Espátula
- Matraces Erlenmeyer (100,250 y 500 mL).

- Papel filtro
- Pera succionadora
- Pinzas de metal
- Pipetas (1,5 y 10 mL)
- Placas Petri
- Probetas (50, 100 Y 500 mL)
- Termómetro 0-100 °C
- Vasos precipitados (50 y 100 mL).
- Balón de Kjeldahl.
- Crisoles de porcelana.
- Agua destilada
- Mortero
- Espátula de acero inoxidable
- Varilla de vidrio
- Mesa de acero inoxidable

2.5.4. Reactivos

- Hidróxido de sodio (NaOH) al 0,1 N
- Indicador Tashiro
- Ácido clorhídrico (HCl) 0,05 N
- Ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 98%
- Catalizadores: (Sulfato de potasio (KSO₄) y Sulfato de cobre CUSO₄)
- Solución Buffer acetato de Sodio 0,1 M - pH 4,5

2.5.5. Equipos

- Balanza digital gramera (capacidad 100 kg)
- Balanza gramera digital (0,01-500g)
- Balanza analítica electrónica (Marca: OHAUS serie 3526 USA cap. 200g)
- Molino de discos (Marca: MAQORITO, Modelo: 25-50 KG/H)
- Molino pulverizador (Modelo: GR-PV30B)
- Extrusor doble tornillo (Marca: SHENGRUN, Modelo: TSE-65 Shandong, china) con una capacidad de 60-120 kg/h.
- Gabinete de enfriamiento (Marca: SHENGRUN, Modelo: RQKX-3X5 con voltaje nominal de 380 V / 60 Hz)
- Determinador de humedad (Marca: METTLER, modelo HB43-S)
- Deshidratador de bandejas (Marca: MARQORITO, modelo: MQD10BD)

- Mufla (Marca: BIONET, modelo: MD2-1 06, T° máx. 1200° C)
- Estufa (temperatura graduable)
- Extractor de proteína Kjeldahl marca VELP SCIENTIFIC
- Digestor de fibra cruda
- Extractor Soxhlet
- Mufla (Marca: FSC, modelo MD2-1 06, T° máx. 1200° C.)
- Tamiz N° 60,120 (W.S. TYLER)
- Germinador prototipo
- Refrigerador (T°17-20 °C)
- Texturómetro: CTX, Brookfield Ametek con accesorio (Celda de Ottawa TA-OC)
- Centrifuga (JANETZKI T30)
- Colorímetro (LOVIBOND RT colour V3.0)
- Agitador magnético
- Vernier digital
- Baño maría

2.5.6. Otros materiales

- Cuchillo
- Bolsas de polipropileno de alta densidad
- Envases de plástico de 15 L
- Jarra plástica 500 mL
- Bandejas de plástico
- Papel aluminio
- Frascos de vidrio
- Colador multiuso
- Sobres de siliconas (de grado alimentario)
- Material para prueba sensorial: Formatos, lapicero y vasos/platos descartables

2.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología empleada para la elaboración del snack extruido de grits de maíz, harinas de quinua germinada y cushuro se realizó en 3 procesos independientes.

2.6.1. Proceso de obtención de harina de quinua germinada

a) Recepción y selección.

La quinua de variedad blanca, previamente lavada y libre de saponinas, fue sometida a un proceso de eliminación de impurezas como tierra, pajillas, hojas, metal,

piedras, entre otros, así como materias extrañas. Se utilizaron 7 kg de quinua; se seleccionaron los granos buenos, se separaron dañados y los granos ajenos a la variedad.

b) Pesado

Se realizó en una balanza de 20 kg de capacidad, tomando 6,930 kg de quinua.

c) Lavado y desinfectado.

Se realizó el lavado para eliminar suciedad, hasta que el agua quedara lo menos turbia y lo más transparente posible. Se empleó hipoclorito de sodio a 200 ppm como agente desinfectante por cada cantidad de agua destilada, con un tiempo de inmersión de 10 minutos, con la finalidad de provocar la destrucción de microorganismos patógenos.

d) Maceración o remojo.

Para este proceso se utilizó agua potable tratada a temperatura de 20 °C, con una relación (1:5) de grano: agua, durante un tiempo de maceración de 6 a 8 horas, teniendo en cuenta airear cada 2 horas para evitar la formación de CO₂ y alcohol dentro del agua, previniendo así la aparición de microorganismos dentro de la preparación.

e) Germinado.

Se realizó en una cámara con parámetros controlados de temperatura de 20 °C y humedad relativa del 90%. Se colocaron bandejas de plástico por un lapso de tiempo de 24 a 36 horas. Durante este tiempo se hizo monitoreo de la radícula del grano hasta que alcance entre 2 y 2,5 cm.

f) Secado.

Los germinados de quinua, una vez listos, se extendieron en las bandejas, para luego dar inicio al proceso de secado a una temperatura de 40 °C por 48 horas. Este procedimiento se realizó con el objetivo de alcanzar humedades entre 3–4,5 %.

g) Molienda

En esta etapa se utilizó un molino de discos, con tamaño de corte N° 7.

h) Tamizado.

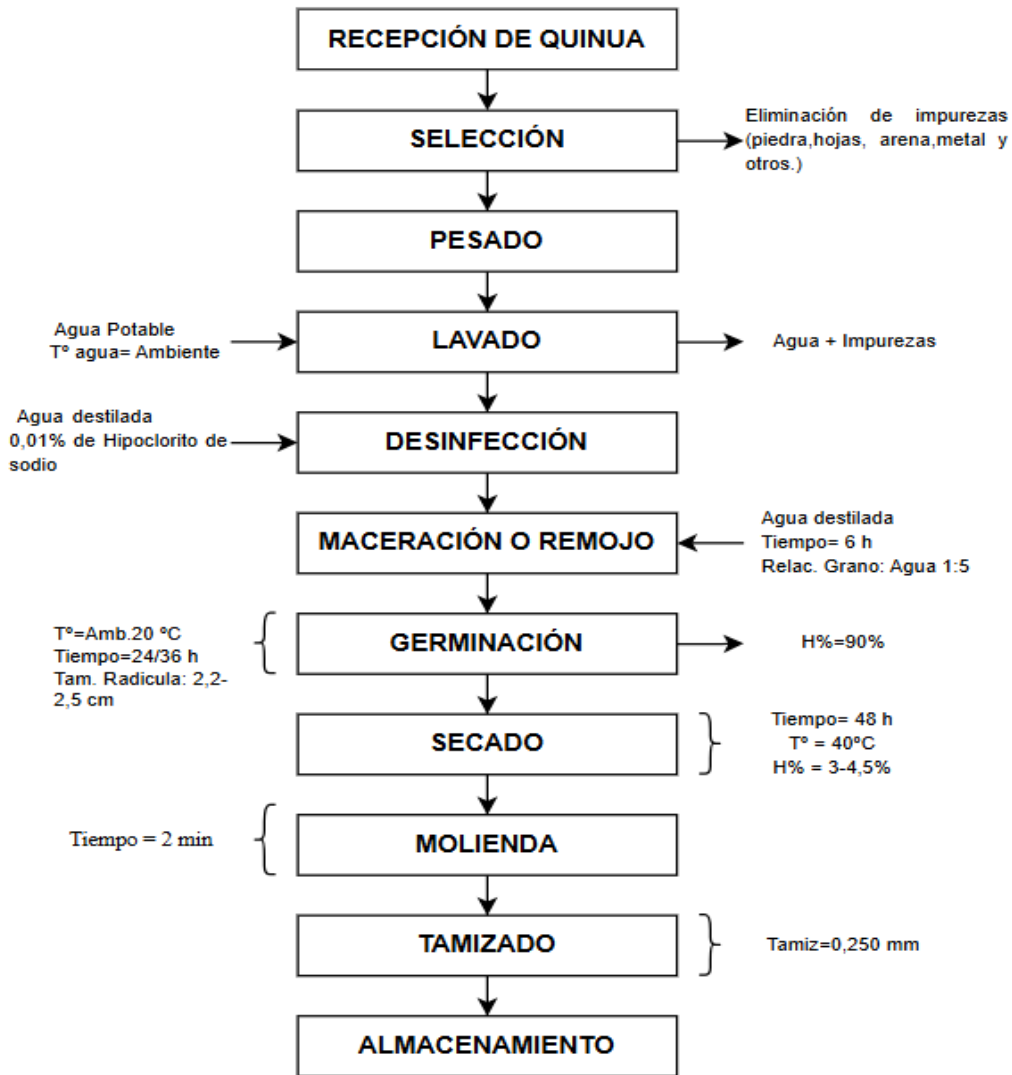
Para el tamizado se empleó un tamizador ASTM malla N ° 60.

i) Almacenamiento.

Las harinas se envasaron en bolsas de polietileno

Figura 12

Diagrama de flujo para la obtención de harina de quinua germinada



2.6.2. Proceso de obtención de harina de cushuro

a) Recepción

Se recibió el cushuro en estado fresco, con las características adecuadas de forma ovoide y lisas. Se utilizó 23,8 kg de cushuro de la variedad *Nostoc sphaericum*.

b) Selección

Las algas se seleccionaron por tamaño (0,5 cm de diámetro), homogeneidad y buen estado general. Las esferas muy pequeñas, rotas, de colores marrones y deformes se descartaron.

c) Lavado

Se realizó 3 enjuagues con agua potable para retirar restos de pajillas, tierra y otros; Seguidamente, un remojo con dióxido de cloro 3000 ppm en 20 L de agua por 10

min. Se enjuagó con 20 L de agua hervida, seguidamente con 20 L de agua helada a 3 °C; luego se procedió con el escurrido y drenado.

d) Secado

Se realizó por flujo de aire en un secador de bandejas. En cada cámara (20 bandejas), se colocaron 23,8 kilos de cushuro fresco, distribuidos de manera uniforme sobre láminas de siliconas de grado alimentario; primero se dejó secar a una humedad relativa del 2% al 3% con temperatura de 55 °C durante 12 horas para eliminar la cantidad de agua posible. Luego el secado continuó a 45 °C durante 24 horas, con el fin de alcanzar humedades de 4 a 5 %.

e) Molienda

Se utilizó un molino pulverizador para reducir el tamaño de las partículas.

f) Tamizado

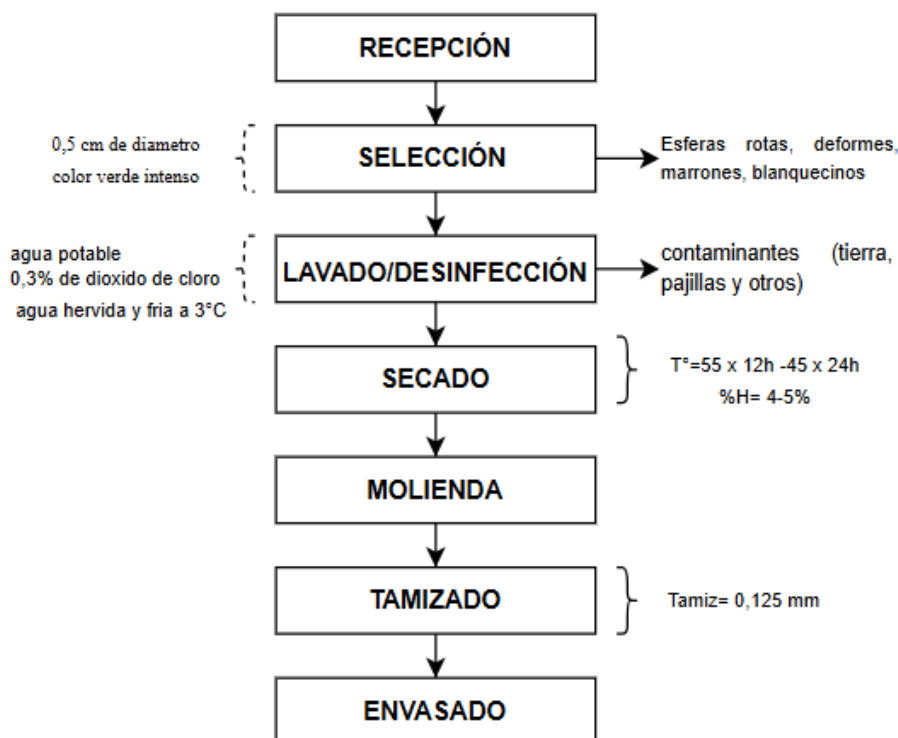
Se realizó por un tamiz de malla N°.120 para conseguir que la harina se separe en pequeñas partículas.

g) Envasado

Se envasó en frascos de vidrio estándar.

Figura 13

Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de cushuro



2.6.3. Proceso de obtención del snack extruido

a) Pesado

Se pesaron los grits de maíz, harinas de quinua germinada y cushuro previamente tamizadas, según los porcentajes previstos en las formulaciones.

b) Mezclado y acondicionamiento

Usando los datos de humedad inicial de los grits de maíz, harinas de quinua germinada y cushuro, que se obtuvieron del análisis químico proximal, se realizó el cálculo del balance de masa. Esto se realizó para determinar la cantidad de agua a agregar en cada formulación a fin de que se obtenga una mezcla de 12 a 18 % de humedad. Las harinas de quinua germinada, cushuro y demás ingredientes se combinaron hasta obtener una mezcla homogénea y se incorporaron poco a poco al grits de maíz previamente hidratado con agua con el fin de evitar la formación de grumos; se procedió nuevamente al mezclado hasta obtener una mezcla homogénea. Las formulaciones se envasaron en bolsas de polipropileno con ziploc.

El balance se realizó según la siguiente expresión:

$$M_{\text{agua}} = m_1 * \frac{(h_2 - h_1)}{(100 - h_1)} \quad (6)$$

Dónde:

M_{agua} = masa de agua a agregar.

m_1 = masa inicial del producto

h_1 = humedad inicial del producto

h_2 = contenido de humedad final del producto.

c) Extrusión

La extrusión de las 9 formulaciones se llevó a cabo en un extrusor de doble tornillo en el que se trabajó a una velocidad de tornillo de 500 RPM, flujo de alimentación de 10,74 Hz, velocidad de corte de 32,61 Hz, temperatura de la zona de alimentación a 38 °C, la zona de calentamiento a 76 °C, la zona de cocción a 140 °C (a lo largo de las secciones del extrusor) y la matriz de salida de 3,2 mm.

d) Enfriamiento

El producto extruido paso por una cámara de secado y enfriamiento a temperatura de 23 °C, con velocidad de aire de 1,5 m/s y a una humedad relativa de 40%, con el fin de evitar condensaciones o pérdida de la textura.

e) Envasado

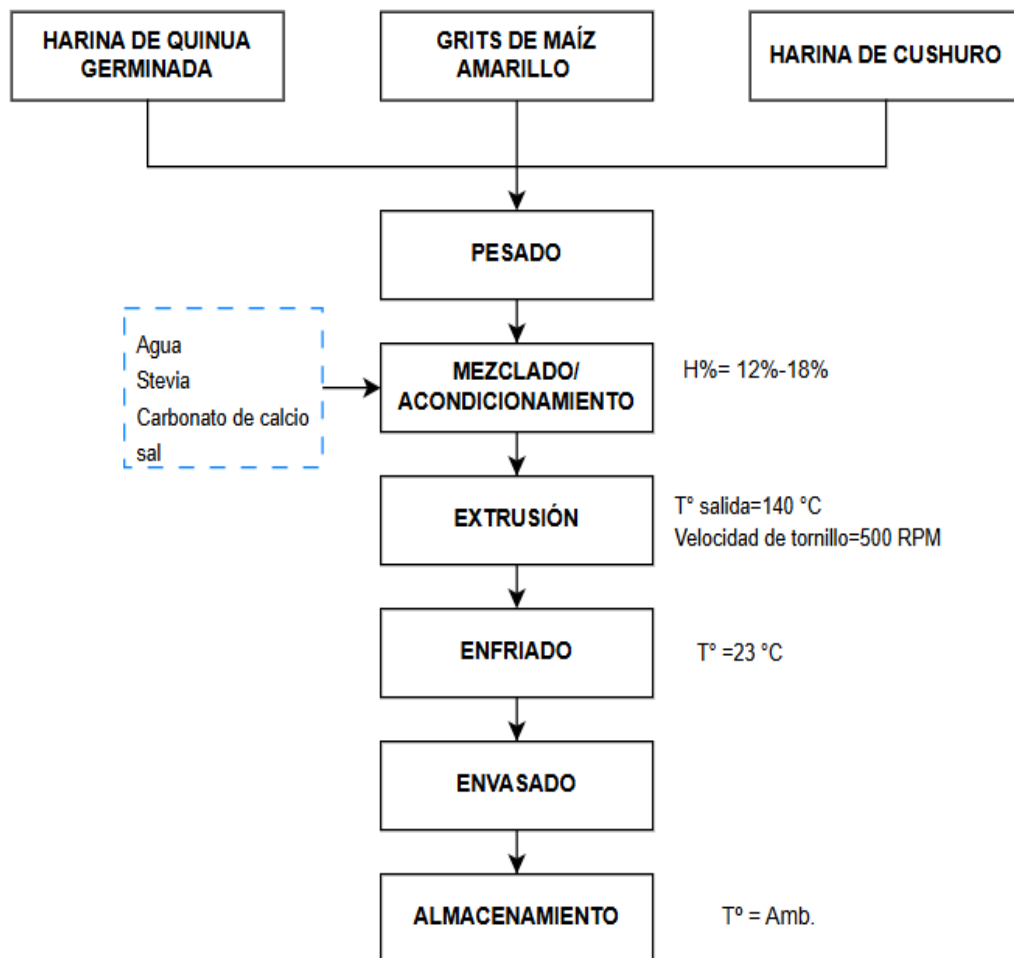
Se envasó el producto terminado en fundas de polipropileno, las cuales fueron cubiertas con sacos de rafia, con el fin de mantener sus características para ser analizadas.

f) Almacenamiento

Se almacenó el producto terminado a temperatura ambiente.

Figura 14

Diagrama de flujo de la obtención de snack extruido



2.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó la metodología de diseño de mezclas con vértices extremos, empleando el programa estadístico Design-Expert® V.13, con la finalidad de optimizar la formulación. Se realizó las siguientes etapas. (a) Obtención y caracterización de grits de maíz, harina de quinua germinada y cushuro, (b) Obtención de las formulaciones experimentales, c) Evaluación de las formulaciones (d) Optimización de las formulaciones mediante diseño de mezclas.

a) Obtención y caracterización de las harinas

La quinua germinada y el cushuro fueron secados y molidos para la obtención de harina; seguidamente, se llevaron a cabo los análisis químico proximales (humedad, proteína, fibra cruda, grasa) de cada una de las materias primas, incluido el grits de maíz.

b) Obtención de las formulaciones experimentales

Según Bordoloi & Ganguly (2014), el contenido mínimo de almidón que debe tener la mezcla de ingredientes para lograr un snack con buena expansión es de 60-70%. Mientras que Obregón (2023) sugiere incorporar 20% de quinua germinada, así mismo, Lavado et al. (2022) propone incorporar quinua germinada de 14-17%. En cambio, Remache (2016) recomienda incorporar menos de 25% de harina de quinua, para enriquecer nutricionalmente sin alterar las propiedades texturales y sensoriales del snack; por otro lado, Cutipa (2022) recomienda adicionar hasta 5% de harina de cushuro en panificación para mejorar sus características sensoriales y texturales. Las formulaciones se obtuvieron mediante el diseño de mezclas con vértices extremos usando el Design-Expert V.13, donde se establecieron las restricciones de máximos y mínimos de grits de maíz, harinas de quinua germinada y cushuro, como se ilustra en la siguiente tabla.

Tabla 14

Valores máximos y mínimos para las formulaciones de los componentes

Componentes	Mínimo	Máximo
Grits de maíz (X_1)	56,52 %	75,36 %
Harina de Quinua Germinada (X_2)	9,42%	18,84 %
Harina de cushuro (X_3)	1,88%	4,71%

Para efectos del diseño experimental de mezclas, se definieron tres componentes independientes X_1 , X_2 , X_3 que constituyen el 94,20% de la formulación total. El 5,80% restante corresponde a insumos fijos (Stevia, carbonato de calcio, sal y agua) que se mantuvieron constantes en todas las formulaciones para no interferir con el análisis de diseño de mezclas. Por lo tanto, el programa operó sobre una pseudomezcla donde la suma de las fracciones variables se normalizó al 100% de dicha porción, garantizando la validez estadística del modelo sin alterar la composición final del snack (100% de la mezcla total). Mediante el programa se obtuvo 9 formulaciones expresadas en términos de porcentajes.

Tabla 15

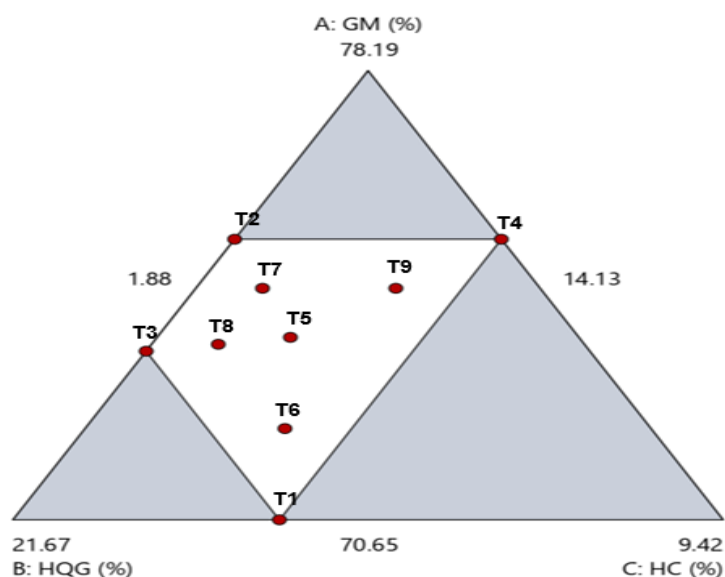
Formulaciones empleadas en la elaboración de los snacks extruidos

Orden de Corrida	Tipo	Bloques	GM	HQG	HC
1	1	1	70,65	18,84	4,71
2	1	1	75,36	16,96	1,88
3	1	1	73,48	18,84	1,88
4	1	1	75,36	14,13	4,71
5	0	1	73,71	17,19	3,30
6	-1	1	72,18	18,02	4,00
7	-1	1	74,54	17,08	2,59
8	-1	1	73,60	18,02	2,59
9	-1	1	74,54	15,66	4,00

Nota. Donde: GM: % de grits de maíz, HQG: % de harina de quinua germinada y HC: % de harina de cushuro

Figura 15

Representación gráfica del diseño de mezclas con restricciones



En la tabla 16, se presentan las formulaciones anteriores complementadas por los demás insumos que ingresan a la preparación (Stevia, carbonato de calcio, sal y agua) expresado en porcentajes.

Tabla 16

Cantidades de materia prima e insumos para las 9 formulaciones

F	GM (%)	HQG (%)	HC (%)	Stevia (%)	carbonato de calcio (%)	sal (%)	agua (%)	Total (%)
T₁	70,65	18,84	4,71	0,3	0,1	0,1	5,2	100
T₂	75,36	16,96	1,88	0,3	0,1	0,1	5,2	100
T₃	73,48	18,84	1,88	0,3	0,1	0,1	5,2	100
T₄	75,36	14,13	4,71	0,3	0,1	0,1	5,2	100
T₅	73,71	17,19	3,30	0,3	0,1	0,1	5,2	100
T₆	72,18	18,02	4,00	0,3	0,1	0,1	5,2	100
T₇	74,53	17,08	2,59	0,3	0,1	0,1	5,2	100
T₈	73,59	18,02	2,59	0,3	0,1	0,1	5,2	100
T₉	74,53	15,66	4,00	0,3	0,1	0,1	5,2	100

c) Evaluación de las formulaciones

Los snacks extruidos fueron elaborados de acuerdo a las formulaciones que se muestran en la tabla 16. A cada formulación se le realizó el análisis químico proximal (humedad, proteína, fibra cruda), evaluación de las propiedades tecnofuncionales (IE, DA, IAA, ISA, color y textura instrumental) y la evaluación sensorial (color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general). Los resultados obtenidos se introdujeron en el programa Design-Expert V.13, determinando el modelo estadístico al que mejor se ajustan cada una de las variables, así como la influencia que tienen los componentes de la mezcla en la variable respuesta. Se establecieron los gráficos de contornos y el gráfico llamado "Trazo de Cox". Los cuales ayudaron a apreciar la variación de la variable en estudio, en función a sus componentes y evaluar su importancia en la mezcla. Según lo descrito por Gutiérrez y De la Vara (2008).

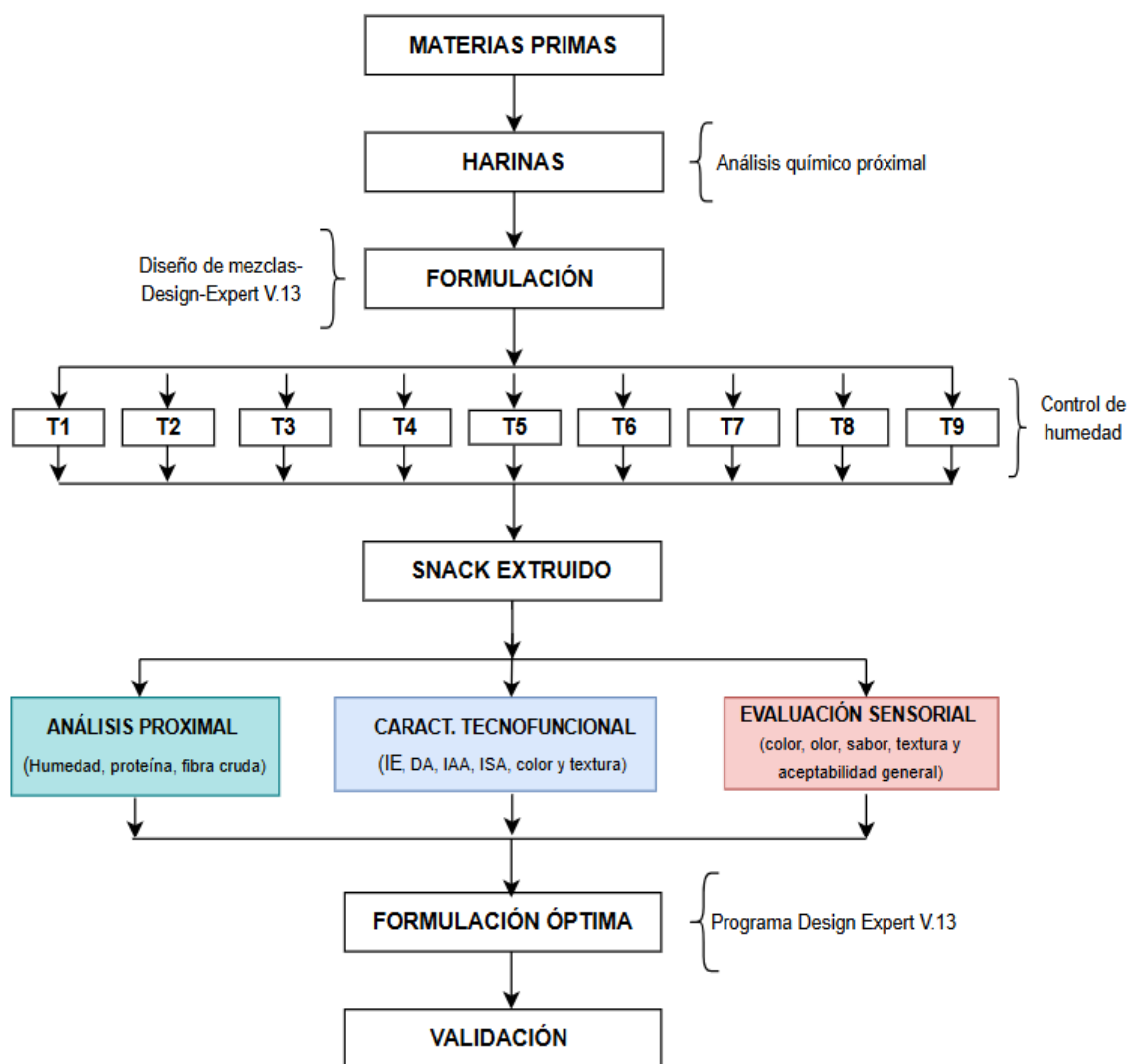
d) Optimización simultánea de las respuestas

La optimización de las formulaciones del snack se realizó en función de los efectos de las variables independientes (GM, HQG Y HC) sobre cada variable respuesta (características proximales, tecnofuncionales y sensoriales) del producto, usando el criterio de deseabilidad global (Derringer & Suich, 1980). Las restricciones se

introdujeron en el programa estadístico, en el cual se graficaron en forma de contornos superpuestos dentro del espacio de formulación definido por el diseño de mezclas, donde la intersección del contorno definió la zona óptima.

Figura 16

Esquema experimental para la optimización del snack extruido



2.8. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Luego de obtenidos los productos, se procedió a evaluar la calidad del snack mediante las pruebas proporcionadas, empleando las técnicas y protocolos de análisis establecidos según la AOAC y NTP descritos en el anexo 1.

2.8.1. Análisis proximal

Humedad: Conforme a la (AOAC) 930.15 Cap. 4, Pág. 2, 21 st Edition 2019.

Proteína: Conforme a la AOAC 954.01 Cap. 32, Pág. 71, 72, 21 st Edition 2019.

Fibra cruda: De acuerdo a la NTP 205.003:1980.

2.8.2. Determinación de las propiedades tecnofuncionales

Índice de expansión (IE): Método descrito por Mäkilä et al.(2014)

Densidad aparente (DA): Método descrito por Chavez et al. (2000)

Índice de absorción de agua (IAA): Método descrito por Anderson et al. (1969)

Índice de solubilidad de agua (ISA): Método descrito por Anderson et al. (1969)

Textura instrumental: CTX, Brookfield Ametek (Celda de Ottawa TA-OC)

Color instrumental: Método descrito por Morales (2014).

2.8.3. Evaluación sensorial

La evaluación de las formulaciones se llevó a cabo con un panel de 30 jueces no entrenados, entre 15 y 30 años, quienes evaluaron atributos sensoriales como el color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general de las 9 formulaciones de snack que se desarrollaron. Los resultados se procesaron mediante una escala hedónica de 7 puntos, como indica en la tabla 17, lo que permitió clasificar los extruidos según la preferencia del consumidor. Los resultados se documentaron en una cartilla de evaluación, como se muestra en el anexo 2.

Tabla 17

Escala hedónica empleada en la evaluación sensorial.

Puntaje	Descripción
7	Me gusta mucho
6	Me gusta
5	Me gusta moderadamente
4	Ni me gusta ni me disgusta
3	Me disgusta moderadamente
2	Me disgusta
1	Me disgusta mucho

2.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados experimentales se evaluaron estadísticamente mediante un diseño de mezclas de vértices extremos, procesando la información en el programa Design-Expert V.13. Este programa permitió sistematizar los datos recolectados en cada unidad experimental y las evaluaciones desarrolladas en laboratorio. El análisis

estadístico no se restringió a un único modelo; en su lugar, se empleó el procedimiento de resumen de ajuste, el cual selecciona automáticamente el modelo polinomial de mayor orden que sea estadísticamente significativo ($p < 0,05$) y que presente el mejor equilibrio entre capacidad predictiva y simplicidad. Según el comportamiento de cada variable respuesta (Humedad, Color, Proteína, etc.), se ajustaron modelos lineales, cuadráticos o cúbicos especiales, cuyas formas generales son:

$$\text{Modelo lineal: } Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (7)$$

$$\text{Modelo cuadrático: } Y = \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum \sum_{i < j}^3 \beta_{ij} X_i X_j \quad (8)$$

$$\text{Modelo cubico especial } Y = \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum \sum_{i < j}^3 \beta_{ij} X_i X_j + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 \quad (9)$$

Donde:

Y: Variable dependiente o respuesta experimental.

X_1, X_2, X_3 : Proporciones de los componentes de la mezcla (grits de maíz, harina de quinua germinada y harina de cushuro).

β : Coeficientes de regresión que representan el efecto lineal de los componentes puros.

β_{ij} y β_{123} : Coeficientes que representan los efectos de interacción binaria y ternaria, respectivamente.

La validez de los modelos se evaluó mediante los siguientes criterios estadísticos: significancia del modelo ($p < 0,05$) y falta de ajuste no significativa ($p > 0,05$), verificados mediante el análisis de varianza (ANVA). Asimismo, se consideró el coeficiente de determinación R^2 ajustado y su concordancia con el R^2 predicho (diferencia menor a 0,2), garantizando una adecuada capacidad predictiva. En la precisión adecuada (Adeq Precisión), solo se aceptaron modelos con un valor superior a 4, lo cual indica que el modelo es suficientemente sensible para ser utilizado en la navegación del espacio de diseño. Bajo este enfoque, se generaron gráficos de contorno para cada variable.

Finalmente, para la optimización del sistema se empleó el criterio de deseabilidad global propuesto por Derringer y Suich (1980), calculado mediante la media geométrica de las deseabilidades individuales:

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_k)^{1/k}$$

Asimismo, se utilizó el gráfico de superposición (overlay plot) para integrar las restricciones de todas las respuestas críticas, facilitando la identificación visual de la zona óptima de la formulación de los snacks extruidos.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

3.1.1. Composición proximal de las materias primas

Para evaluar la calidad del producto extruido, se determinó la composición química proximal de las materias primas (grits de maíz, las harinas de quinua, quinua germinada y cushuro), en la tabla 18 se muestran los datos obtenidos de su composición nutricional.

Tabla 18

Caracterización química proximal de las materias primas

Contenido (%)	Grits de Maíz	Quinua sin germinar	Harina de quinua germinada	Harina de cushuro
Humedad	11,10	5,32	5,44	5,63
Ceniza	0,80	2,45	3,22	5,77
Fibra cruda	0,85	3,21	4,50	0,89
Proteína	6,50	12,47	13,68	30,18
Grasa	3,98	5,12	7,05	0,50
Carbohidratos	88,72	75,03	70,61	57,92

Los resultados obtenidos para el análisis proximal de las materias primas utilizadas en la formulación de los snacks extruidos muestran perfiles químicos opuestos que permiten preveer su comportamiento en el proceso de extrusión.

En el caso de los grits de maíz, los resultados evidencian un contenido característico de esta materia prima, con una humedad cerca al 11%; este valor se encuentra dentro del rango para su posterior procesamiento por extrusión. Estudios previos por Lázaro y Sotelo (2017) presentan similitudes en contenidos de humedad del 12%, lo que sugiere una adecuada estabilidad del insumo utilizado. Respecto al contenido de proteína alcanzaron valores de 6,5%, que es consistente con lo que Muñoz et al. (2022) y Lavado (2022) reportan; estos autores indican contenidos de proteína similares para los grits de maíz de 7,0 a 7,22%. Aunque estos valores son inferiores a los establecidos por la INEN-2051 (2015), esta discrepancia podría explicarse por las variaciones en el origen del grano, el grado de refinamiento y los tratamientos previos del proceso. Los resultados de fibra cruda, grasa y carbohidratos están dentro del rango que estos autores describen, lo cual indica que es un producto con alto contenido de carbohidratos.

La harina de quinua sin germinar, se reportó un contenido de humedad de 5,32%, cifra inferior al máximo permitido por la NTP 011.451 (13,5%). El contenido de proteína fue de 12,47%, por debajo de 16,87% que encontraron Lavado y Verona (2022). Esta diferencia podría ser el resultado de los tratamientos previos a su procesamiento, la variedad de especies vegetales y el ecotipo. No obstante, el contenido proteico se encuentra dentro del rango reportado por los autores citados por Nowak et al. (2016). Asimismo, la fibra cruda de 3,21% se ajusta al rango (1,0-9,2 %), lo cual confirma que la harina de quinua utilizada en esta investigación posee una composición proximal parecida a la reportada en la literatura. Esto verifica que es posible incluirla en la creación de snacks extruidos.

Al analizar el efecto de la germinación de la quinua, se encontró que después de 36 horas de germinación, la harina de quinua germinada obtuvo valores de humedad (5,44%), cenizas (3,22%), fibra cruda (4,5%) y proteína (13,68%), valores que se encuentran dentro del rango informado por Acosta & Campos (2024). En cuanto a la proteína, se encuentra dentro de los valores informados en la tabla 3 de la literatura, pero muy por debajo de lo informado por Verona & Lavado (2022), quienes lograron $23,36 \pm 4,38\%$ después de 48 h de germinación, lo que representa un aumento en comparación con la harina de quinua no germinada, demostrando que el tiempo de germinación afecta la magnitud del incremento proteico. Esta variación también fue reportada por Al-Qabba et al. (2020), quienes afirman que las condiciones de germinación, la variedad de quinua y el ecotipo afectan la composición química de las harinas germinadas. Asimismo, el aumento en fibra cruda apoya en lo reportado por

Pilco-Quesada et al. (2020), verificando que la germinación incrementa el contenido de fibra en la quinua. En cuanto al contenido de grasa (7,05%), superó los valores reportados (3,83-5,13%) por Acosta y Campos (2024), lo que se le atribuye a los diferentes métodos de secado. Estos resultados confirman que la germinación tiene un efecto positivo en el contenido de proteína y fibra cruda, por lo que podrían mejorar el valor nutricional de los snacks extruidos.

La harina de cushuro mostró una composición proximal sobresaliente. En la que los niveles de proteína (30,18%) concuerdan con los informados por Corpus et al. (2021), quienes indican que el contenido proteico del cushuro deshidratado oscila entre (25,4-30%). Aldave (2015) indica que el cushuro tiene un 30% de proteínas, lo cual es el doble que la quinua y demuestra la calidad proteica de esta microalga; no obstante, el contenido de humedad (5,63%) fue menor al (6,3-15%) reportado por Corpus et al. (2021); esto puede ser resultado del proceso de secado realizado durante este estudio, lo cual constituye una ventaja porque contribuye a su conservación y tiempo de vida útil. Los valores obtenidos de fibra cruda (0,89%) coinciden con lo que reportaron Mendez-Ancca et al. (2023), quienes encontraron 0,91% de fibra cruda en cushuro deshidratado; Sin embargo, Alegre et al. (2020) encontraron 5,77 % de fibra cruda, lo que puede deberse a diferencias en el lugar de recolección y el método de secado al que fue sometido. Por otro lado, el cushuro es muy bajo en grasa (0,50%), ideal para fortificar alimentos extruidos altos en proteína y bajos en grasa.

En general, los resultados obtenidos evidencian que la composición proximal de las materias primas es un factor determinante del comportamiento químico, tecnológico y nutricional sobre todo en la elaboración de snacks extruidos, y la humedad, proteína, fibra cruda, grasa y los carbohidratos influyen en la gelatinización del almidón, la expansión, textura y la estabilidad del producto final, por lo tanto, la variabilidad observada entre las materias primas no solo diferencia las materias primas, sino también su potencial funcional dentro del proceso de extrusión; Por lo tanto, una adecuada selección y caracterización de materias primas resulta esencial para obtener un producto con propiedades nutricionales mejoradas y un comportamiento tecnológico adecuado.

3.1.2. Composición de humedad de la mezcla base

La tabla 19, muestra que el contenido de humedad en la mezcla base de las formulaciones oscilan entre un 12,52% y 12,71%.

Tabla 19

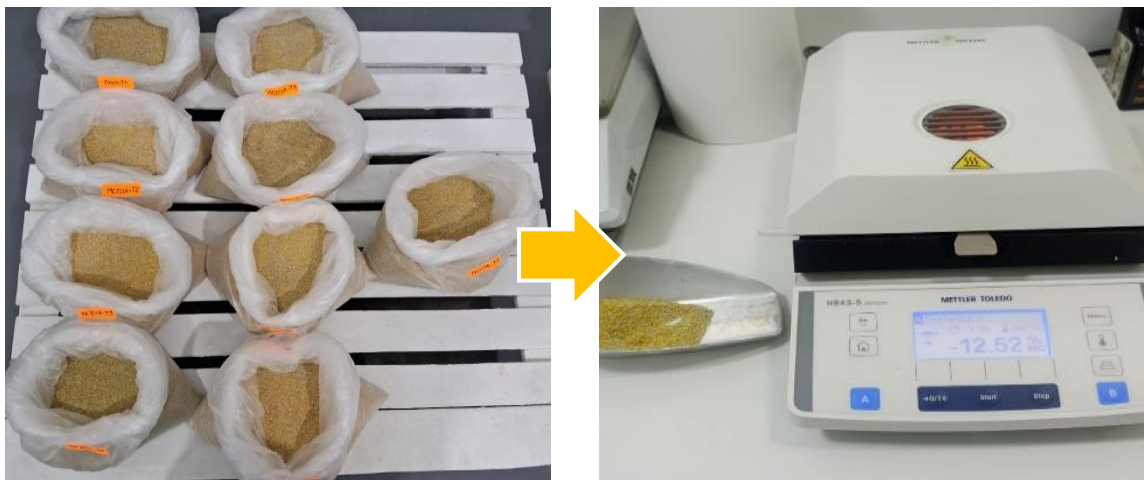
Humedad inicial de la mezcla de los componentes para cada formulación

F	%GM	% HQG	%HC	% H	% H. MB	T °C
T ₁	70,65	18,84	4,71	9,62	12,52	140
T ₂	75,36	16,96	1,88	9,89	12,71	140
T ₃	73,48	18,84	1,88	9,78	12,63	140
T ₄	75,36	14,13	4,71	9,90	12,71	140
T ₅	73,71	17,19	3,30	9,77	12,62	140
T ₆	72,18	18,02	4,00	9,64	12,52	140
T ₇	74,53	17,08	2,59	9,83	12,66	140
T ₈	73,59	18,02	2,59	9,78	12,62	140
T ₉	74,53	15,66	4,00	9,83	12,67	140

Nota. GM: grits de maíz, HQG: harina de quinua germinada, HC: harina de cushuro, %H: Representa la humedad inicial intrínseca de la mezcla sólida (GM + HQG + HC) antes de la adición de agua externa. % H. MB: Corresponde a la humedad de la mezcla en base húmeda ya acondicionada, tras la adición de agua destilada para alcanzar el nivel requerido para el proceso de extrusión y T °C: Temperatura de extrusión mantenida constante a 140 °C en todas las formulaciones.

Figura 17

Determinación de humedad inicial de la mezcla



El contenido de humedad de la mezcla base evaluadas oscilaron entre 12,52 y 12,71%, comportamiento que responde principalmente al proceso de acondicionamiento previos a la extrusión, el cual se incorpora agua a las mezclas formuladas. No obstante, la variación de humedad de la mezcla fue leve debido a la adición de agua que fue homogénea para todas las formulaciones.

Según Pérez (2019), menciona que el contenido de humedad de alimentación para extrusión debe oscilar entre el 12-22% para garantizar una adecuada gelatinización. Además, la INEN:3084 (2015) indica que, si la mezcla entra en el extrusor con niveles de humedad bajos, normalmente por debajo del 14,5%, esto beneficia el proceso de extrusión y se obtiene un producto extruido con una expansión más alta, una textura más crujiente y un mejor sabor. Pero, según Guy (2001), el mínimo porcentaje de humedad de alimentación para la extrusión es de 10%, ya que humedades inferiores a esta podrían restringir la expansión y dar lugar a extruidos menos crujientes. Según estos autores, los valores reportados en este estudio se encuentran dentro del rango de humedad inicial de la mezcla, lo que indica que las condiciones del proceso fueron adecuadas para conseguir extruidos con las propiedades físicas y funcionales deseadas.

La humedad inicial en las formulaciones para extruidos desempeña un análisis crucial y se considera un parámetro fundamental para el proceso de extrusión, ya que el agua participa activamente en numerosas reacciones y promueve la gelatinización del almidón. Espinoza et al. (2021) indica que la humedad de la alimentación define el comportamiento de la mezcla durante la extrusión, como también sus propiedades finales del producto. Por lo cual la humedad también afecta los parámetros tecnofuncionales como la densidad aparente (DA), índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA). Estudios de Carvajal (2019) lo confirman, ya que al someter a extrusión mezclas alimentarias con 15% de humedad inicial a 140°C, se obtuvieron altos índices de absorción de agua (IAA) y bajos índices de solubilidad en agua (ISA); además, estos índices favorecieron los contenidos de proteína, fibra y cenizas y mejoraron los atributos de dureza, crujencia y fuerza a la ruptura. Así mismo, Taimal (2019), Lavado (2022) y Mendoza (2024) reportan que a temperaturas de 110 a 140°C y 12-15% de humedad mejoran la calidad fisicoquímica y funcional de los snacks extruidos. Lo que indica que el comportamiento que presentan las mezclas a extruir evidencia una alimentación homogénea en el extrusor y una gelatinización controlada del almidón que favorece la estabilidad del proceso de extrusión y la estructura del snack extruido.

3.2. ANÁLISIS PROXIMAL DEL SNACK EXTRUIDO

En la tabla 20, se muestran los valores obtenidos del análisis proximal. El contenido de humedad oscila entre 3,462 - 3,783%, proteína 9,83-10,64% y fibra cruda 0,47-0,83 %.

Tabla 20*Resultados obtenidos del análisis químico proximal del snack extruido*

F	% GM	% HQG	% HC	% H	% Proteína	% Fibra cruda
T ₁	70,65	18,84	4,71	3,754±0,022	10,64 ± 0,47	0,83±0,01
T ₂	75,36	16,96	1,88	3,462±0,044	9,83 ± 0,06	0,47±0,06
T ₃	73,48	18,84	1,88	3,684±0,021	9,87 ± 0,05	0,50±0,04
T ₄	75,36	14,13	4,71	3,506±0,023	10,44 ± 0,04	0,52±0,01
T ₅	73,71	17,19	3,30	3,584±0,023	10,23 ± 0,04	0,71±0,06
T ₆	72,18	18,02	4,00	3,783±0,036	10,52 ± 0,04	0,74±0,03
T ₇	74,53	17,08	2,59	3,553±0,012	10,00 ± 0,01	0,55±0,09
T ₈	73,59	18,02	2,59	3,655±0,109	10,29 ± 0,01	0,49±0,11
T ₉	74,53	15,66	4,00	3,615±0,015	10,38 ± 0,06	0,68±0,08

A continuación, se presentan los resultados estadísticos de la evaluación del efecto del GM, HQG y HC sobre las características proximales del snack. Según Gutiérrez y De la Vara (2008), una vez obtenidos los resultados experimentales de un diseño de mezclas es necesario ajustar un modelo estadístico para investigar el efecto de los componentes sobre la respuesta. El programa Design-Expert® V.13 examinó varios modelos (cuadrático, cúbico especial y lineal) con base en su capacidad de ajuste y su significancia estadística.

3.2.1. Humedad

a. Selección del modelo estadístico

Tabla 21*Resumen estadístico de los modelos para humedad*

Fuente	Valor p	Valor F	R²	R² ajustado	R² previsto	PRESS	
Lineal	0,0068	12,82	0,8102	0,7470	0,3610	0,0598	Sugerido
Cuadrático	0,2206	2,67	0,9483	0,8621	0,6706	0,0308	
Especial	0,0028	358,93	0,9997	0,9989	NA ⁽¹⁾	*	
Cúbico							

La tabla 21 muestra los diferentes modelos de ajuste (lineal, cuadrático y cúbico especial) para el parámetro humedad. Donde el modelo lineal presenta un valor de $p=0,0068$, el cual es altamente significativo ($p<0,05$); mientras que el modelo cuadrático presenta falta de significancia con un valor de $p=0,2206$, indicando que no mejora el

ajuste respecto al modelo lineal, por lo que fue descartado. Por otro lado, el modelo especial cúbico también resultó significativo y mostró valores de R^2 más altos; No obstante, mostró una capacidad predictiva nula (NA) y signos de sobreajuste. Se cumple que, $0 < R^2_{ajustado} \leq R^2 \leq 1$ (Gutiérrez y De la Vara, 2008). En consecuencia, se eligió el modelo lineal por ser el más apropiado, ya que mostró significancia estadística, con valores de PRESS bajos y un comportamiento predictivo aceptable y es adecuado para explicar el efecto de las cantidades de grits de maíz, harinas de quinua germinada y cushuro con respecto a la humedad.

b. Análisis de varianza (ANVA) del modelo seleccionado

Tabla 22

Análisis de varianza del modelo lineal para la humedad

Fuente	Suma de cuadrados	D f	Media cuadrática	Valor F	Valor p	
Modelo	0,0758	2	0,0379	12,81	0,0068	Significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	0,0758	2	0,0379	12,81	0,0068	
Residual	0,0178	6	0,0030			
Cor Total	0,0936	8				

El análisis de varianza (ANVA) nos indica que el modelo lineal es estadísticamente significativo con valores de $p < 0,05$, y el valor de F del modelo de 12,81 lo que demuestra que las proporciones de los componentes influyen de manera significativa sobre la humedad del producto.

c. Estadísticos de ajuste y precisión

Tabla 23

Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para humedad.

Desv. estándar	Media	CV %	R^2	R^2 ajustado	R^2 previsto	Precisión adecuada
0,0402	3,62	1,11	0,9483	0,8621	0,6706	9,0524

El modelo lineal representa un alto coeficiente de determinación, indicando que explica más del 94% de la variabilidad de respuesta. La diferencia entre R^2 ajustado y el R^2 predicho es menor a 0,2, lo que indica una adecuada capacidad predictiva. Así

mismo, la precisión adecuada es de 9,052 superior a 4, que es lo deseable, e indica que es una señal adecuada. Este modelo puede utilizarse para navegar por el espacio de diseño.

La ecuación obtenida del modelo lineal para humedad permitió cuantificar el aporte individual de cada componente de la mezcla.

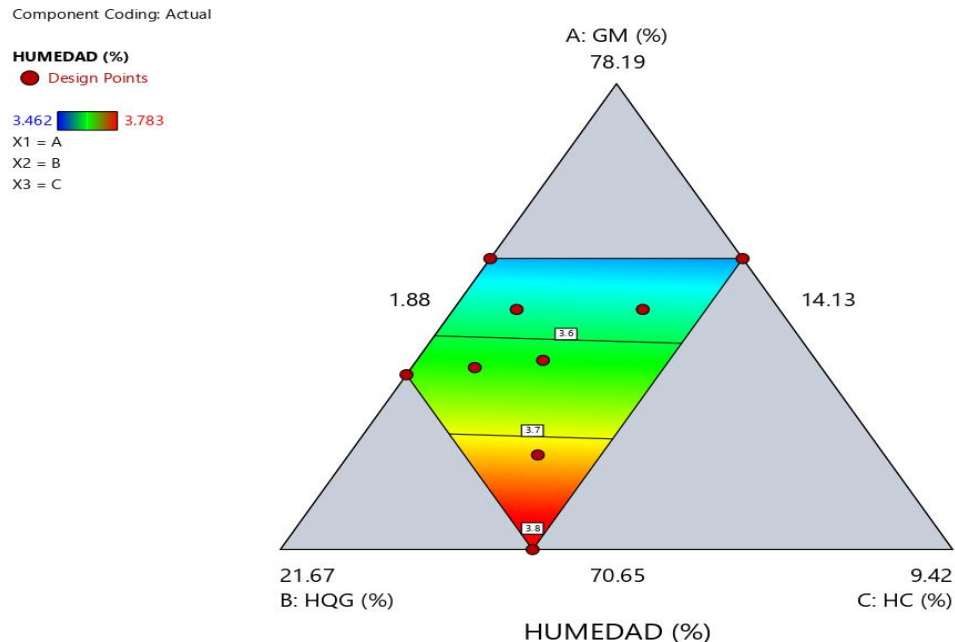
$$\text{Humedad} = 0,0245(\text{GM}) + 0,0891(\text{HQG}) + 0,0863(\text{HC}) \quad (10)$$

La ecuación muestra que la HQG (0,0891) es el ingrediente que más incrementa la humedad del snack extruido; de igual forma, la HC, su coeficiente es de 0,0863 casi igual a la HQG; el del GM es 0,0245, es el más bajo. Esto indica que el maíz aporta menos humedad comparado con los demás ingredientes.

Con el modelo estadístico seleccionado se obtuvieron los gráficos de contornos, los cuales sirven para analizar la influencia de los componentes de la mezcla en la variable respuesta

Figura 18

Gráfico de contorno de mezcla del modelo lineal para la humedad



En la figura 18 se observan los ejes del diagrama ternario, cuyos vértices corresponden a las formulaciones con el 100% de cada uno de los ingredientes: Grits de maíz (GM), harina de quinua germinada (HQG) y harina de cushuro (HC), dentro de la fracción variable de la formulación (94,20%). El vértice superior corresponde al GM, el vértice inferior izquierdo a la HQG y el vértice inferior derecho a la HC. Se observa

que el color del gráfico cambia de azul a rojo, pasando por el color verde, de acuerdo al incremento de la variable respuesta (como se indica en el mismo gráfico), siendo de color azul los niveles más bajos, verde los intermedios y rojos los más altos. En este caso, el valor más alto (zona roja) se encuentra en la base del espacio de diseño entre la HQG y HC, destacando la formulación T₁ (3,754%) y T₆ (3,783%). Según la Tabla 20, estas formulaciones contienen las proporciones más elevadas de harina de quinua germinada y harina de cushuro. Por el contrario, la zona azul, que representa los niveles mínimos de humedad, se localiza hacia el vértice superior que corresponde al GM; este comportamiento coincide con la formulación T₂ (3,462%) que posee el mayor contenido de grits de maíz (75,36%) y el nivel más bajo de cushuro (1,88%). Las formulaciones ubicadas en la zona verde muestran la zona más equilibrada entre las formulaciones, coincidiendo con las formulaciones T₅ (3,584%) y T₉ (3,615%) y, que muestran valores intermedios de humedad. Esto evidencia que el incremento de grits de maíz (GM) ejerce un efecto reductor en la humedad final que compensa parcialmente el incremento provocado por la harina de quinua germinada (HQG) y el cushuro (HC).

Según Muñoz et al. (2022), los rangos de humedad se mantuvieron entre 7,6% y 9,1% para snacks extruidos de quinua, arroz y maíz. Asimismo, Taimal (2019) reportó una humedad máxima de 5,13% en mezclas de maíz, chocho y papa, mientras que Obregón (2023) obtuvo valores de hasta 9,15% en snacks de quinua germinada y nopal. Por su parte, Mendoza (2024) refiere que, tras el proceso de extrusión, la humedad se redujo de un 9,42% inicial a un 7,04% en el producto final. Estos autores coinciden en que un contenido de humedad inferior al 9,11% es un indicador de calidad que asegura baja susceptibilidad al crecimiento microbiano y una mayor estabilidad en el almacenamiento. En contraste, los valores obtenidos en la presente investigación (3,462% - 3,783%) fueron considerablemente menores a los reportados en los estudios citados, lo que sugiere una mayor eficiencia en la pérdida de agua por evaporación instantánea durante el proceso. No obstante, estos resultados cumplen estrictamente con los requisitos de la NTP 209.226 y NTC 3659, que establecen un valor máximo de humedad del 5% para productos extruidos.

Desde el punto de vista del proceso, la pérdida de humedad observada se explica por el fenómeno descrito por Valenzuela et al. (2011), quienes indican que la evaporación ocurre de manera repentina a la salida de la boquilla del extrusor debido al diferencial de presión entre el equipo y el medio ambiente. Este fenómeno se ve reforzado en formulaciones con mayor contenido de almidón, como la formulación T₂ (75,36% GM), donde la gelatinización y expansión favorecen la liberación de vapor,

resultando en una menor humedad residual. Además, Guy (2001) indica que en el procedimiento de extrusión los lípidos y la proteína funcionan como lubricantes y plastificantes, lo que reduce el esfuerzo de cizalla y, por ende, la presión dentro del barril. Esto a su vez disminuye la evaporación del agua debido al sobrecalentamiento. Por consiguiente, la composición y la capacidad de retención de agua de las materias primas influyen en la humedad final del snack extruido. Este comportamiento coincide con el de Corpus et al. (2021), que sostienen que la elevada concentración de fibra soluble y polisacáridos del cushuro provoca un comportamiento diferente, dado que estas moléculas tienden a absorber agua y alteran sus interacciones estructurales.

3.2.2. Proteína

a. Selección del modelo estadístico

Tabla 24

Resumen estadístico de los modelos para proteína

Fuente	Valor p	Valor F	R ²	R ²	R ²	PRESS	
				ajustado	previsto		
Lineal	0,0006	33,57	0,9180	0,8906	0,8223	0,1178	Sugerido
Cuadrático	0,7445	0,4342	0,9428	0,8475	0,0319	0,6419	
Especial	0,5695	0,4551	0,9534	0,8136	NA ⁽¹⁾	*	
Cúbico							

De acuerdo a la tabla 24, se evidencia que el modelo lineal presenta un valor de ($p=0,0006$), siendo altamente significativo ($p<0,05$); en contraste, los modelos cuadráticos ($p=0,7445$) y especial cúbico ($p=0,5695$) carecen de significancia estadística, lo que invalida su uso para esta variable. De igual forma, el modelo lineal alcanzó el R² previsto más alto (0,8223), lo que demuestra su alta precisión. Por el contrario, el modelo cuadrático mostró una capacidad predictiva baja R² (0,0319), indicando un fenómeno de sobreajuste. En consecuencia, se eligió el modelo lineal por ser el más apropiado, ya que mostró significancia estadística, con valores de PRESS bajos y un comportamiento predictivo aceptable, y se adecua para explicar el efecto de las cantidades de grits de maíz, harinas de quinua germinada y cushuro con respecto a la proteína.

b. Análisis de varianza (ANVA) del modelo seleccionado

Tras la fase de selección se procedió a validar la robustez del modelo lineal mediante el análisis de varianza (ANVA).

Tabla 25*Análisis de varianza del modelo lineal para la proteína*

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	0,6086	2	0,3043	33,57	0,0006	Significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	0,6086	2	0,3043	33,57	0,0006	
Residual	0,0544	6	0,0091			
Cor Total	0,6630	8				

El análisis de varianza (ANVA) revela que el modelo lineal es estadísticamente significativo con un $p = 0,0006$, el valor de $F = 33,57$ asegura que el modelo posee una capacidad discriminante suficiente. Lo que permite afirmar que las proporciones de grits de maíz, harina de quinua germinada y harina de cushuro influyen de manera determinante en el contenido proteico del snack extruido.

c. Estadísticos de ajuste y precisión

Tabla 26*Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para proteína*

Desv. estándar	Media	CV %	R²	R² ajustado	R² previsto	Precisión adecuada
0,0952	10,24	0,9293	0,9180	0,8906	0,8223	15,2818

El R^2 predicho de 0,8223 concuerda razonablemente con el R^2 ajustado de 0,8906; es decir, la diferencia es menor a 0,2. la precisión adecuada es de 15,2818 superior a 4, que es lo deseable, e indica que es una señal adecuada. Este modelo puede utilizarse para explorar por el espacio de diseño.

La ecuación obtenida para el modelo seleccionado permitió cuantificar el aporte individual de cada componente de la mezcla para proteína.

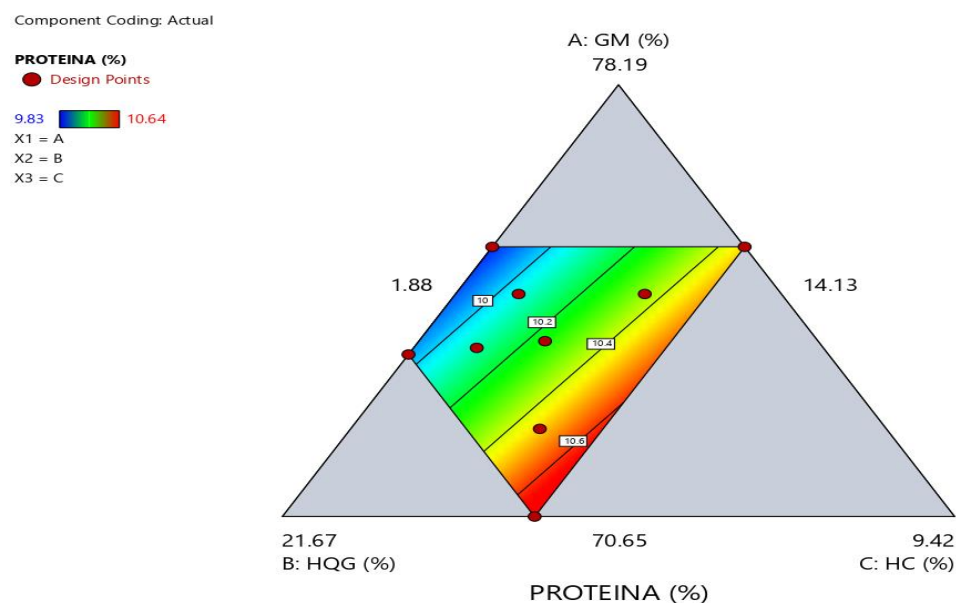
$$\text{Proteína} = 0,0903 (\text{GM}) + 0,1407 (\text{HQG}) + 0,3537 (\text{HC}) \quad (11)$$

Este indica que la HC es el componente con el mayor impacto positivo en la proteína con un coeficiente de 0,3537. En cambio, la HQG (0,1407) tiene una contribución intermedia. Por el contrario, el GM (0,0903): Es el ingrediente que menos aporta al contenido proteico total, funcionando principalmente como la matriz de almidón para la extrusión.

Con el modelo matemático seleccionado se obtuvieron los gráficos de contornos, los cuales sirven para analizar la influencia de los componentes de la mezcla en la variable respuesta

Figura 19

Gráfico de contorno de mezcla del modelo lineal para la proteína



En la figura 19 se presenta el contorno de mezcla para la proteína que muestra la variación del contenido de proteína en función de la proporción de los tres componentes de la mezcla: Grits de maíz (GM), harina de quinua germinada (HQG) y harina de cushuro (HC): El gráfico de contornos muestra un comportamiento claramente definido y coherente con un modelo lineal. Donde la zona roja ubicada en el vértice inferior derecho que corresponde a la HC, presenta el valor más alto de proteína (10,64%), coincidiendo con la formulación T₁. Según la tabla 20 se observa que esta formulación contiene niveles más altos de HQG (18,84%) y de HC (4,71%). En cambio, la zona azul ubicada en el vértice superior que corresponde al GM representa los valores mínimos de proteína (9,83), coincidiendo con la formulación T₂ que contiene un porcentaje más alto de GM (75,36%) y niveles bajos de HQG (16,96) y HC (1,88%). La zona verde muestra valores intermedios que oscilan entre 10,23% y 10,38%; estas son las formulaciones T₅ y T₉, las cuales reflejan una composición equilibrada entre los tres componentes.

Los hallazgos obtenidos en este estudio concuerdan con lo reportado por Lavado (2022), quien en su formulación de cereales y pseudocereales germinados (17% de harina de quinua germinada y 59% de harina de cañihua germinada) extruidos a 115

°C, obtuvo un 13,73% de proteína, mientras que al extruir 100% de grits de maíz el valor descendió a 7,22%. De igual forma, Obregón (2023) reportó un contenido proteico de 8,36% en mezclas con 20% de quinua germinada; en contraste, al emplear un 43,75% de maíz sin adición de quinua ni nopal, el valor cayó a 3,07%. Estos resultados confirman que la harina de pseudocereales tiene un efecto directo sobre el perfil proteico, mientras que los grits de maíz tienen un efecto de dilución, tal como se observó en la presente investigación. De igual forma, Cutipa (2022) destaca que la HC en 5% de sustitución eleva el contenido proteico en panes. Por lo tanto, la sustitución de cereales ricos en almidón por fuentes alternas como el cushuro permite obtener productos con alto contenido de proteína. Por otro lado, Taimal (2019) resalta el efecto de la temperatura de extrusión, observando que el contenido de proteína disminuyó de 12,5% a 8,32% cuando se incrementaba la temperatura de 110 °C a 140 °C en mezclas de maíz, quinua y chocho. En relación a esto, Guy (2001) y Maskan & Altan (2012) señalan que la extrusión con alta temperatura y baja humedad favorece la reacción de Maillard. Esta reacción, puede reducir el valor nutricional al sufrir una reacción con la lisina. Sin embargo, la digestibilidad proteica se incrementa a causa de la desnaturalización térmica, lo que es un beneficio metabólico para el consumidor (Pérez, 2019).

En términos generales, los resultados demuestran que la incorporación de cushuro y quinua germinada eleva significativamente el valor nutricional del snack extruido ya que todas las formulaciones obtenidas superaron los estándares de la NTC 3659 y el PNAEQW, que establecen mínimos de 3% y 8,5% de proteína respectivamente, consolidando al producto como un alimento con un aporte proteico adecuado.

3.2.3. Fibra cruda

a. Selección del modelo estadístico

Tabla 27

Resumen estadístico de los modelos para fibra cruda

Fuente	Valor p	Valor F	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	PRESS	
Lineal	0,0158	8,95	0,7489	0,6652	0,2166	0,1084	Sugerido
Cuadrático	0,2199	2,68	0,9317	0,8180	-0,2816	0,1773	
Especial							
Cúbico	0,2754	2,21	0,9676	0,8703		*	

De acuerdo a la tabla 27, se evidencia que el mayor de todos es el modelo lineal, ya que presenta un valor de $p=0,0158$, siendo estadísticamente significativo ($p < 0,05$); los modelos cuadráticos y el especial cúbico presentan falta de significancia estadística con valores de p de 0,2199 y 0,2754, respectivamente. No obstante, el modelo especial cúbico presenta el coeficiente de determinación más elevado ($R^2=0,9676$); sin embargo, al evaluar su validez predictiva R^2 previsto, se observa que tanto el modelo especial cúbico como el cuadrático presentan deficiencias críticas; el modelo cuadrático presenta un R^2 previsto negativo (-0,2816), lo que invalida su uso. Por consiguiente, se selecciona el modelo lineal como el más adecuado. Además de presentar el menor valor de PRESS (0,1084), confirmando que tiene el menor error de predicción entre las opciones evaluadas.

b. Análisis de varianza (ANVA) del modelo seleccionado

Tabla 28

Análisis de varianza del modelo lineal para fibra cruda

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	0,1036	2	0,0518	8,95	0,0158	significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	0,1036	2	0,0518	8,95	0,0158	
Residual	0,0347	6	0,0058			
Cor Total	0,1384	8				

El análisis de varianza (ANVA) para la fibra cruda determinó que el modelo lineal de mezcla es estadísticamente significativo ($p < 0,05$), con un valor F de 8,95. Estos resultados confirman que las variaciones en las proporciones de GM, HGQ y HC impactan de manera efectiva en el contenido de fibra cruda del snack.

c. Estadísticos de ajuste y precisión

Tabla 29

Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para fibra cruda

Desv. estándar	Media	CV %	R^2	R^2 ajustado	R^2 previsto	Precisión adecuada
0,0761	0,6072	12,53	0,7489	0,6652	0,2166	8,8750

En la tabla 29, se observa que el R^2 ajustado y el R^2 predictivo (mayor a 0,2) sugiere una capacidad predictiva limitada. Esta disparidad podría indicar que la variación de fibra cruda en el snack extruido no depende únicamente de sus componentes, sino

que también podría estar influenciada por factores de proceso de extrusión. Por otro lado, la precisión adecuada es de 8,875, mayor a 4. Por lo tanto, el modelo se considera válido para identificar tendencias de optimización, aunque se reconoce una mayor variabilidad intrínseca en esta respuesta específica, por lo que se recomienda la validación experimental de la fórmula óptima para confirmar la respuesta observada.

Las ecuaciones de regresión para la variable respuesta fibra cruda es:

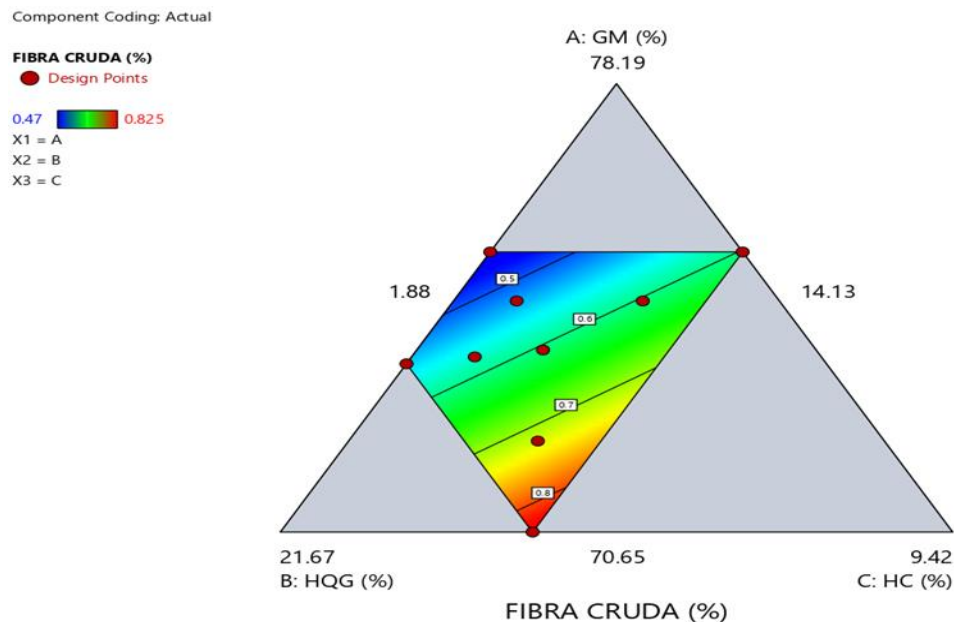
$$\text{Fibra cruda} = -0,0063(\text{GM}) + 0,0435(\text{HQG}) + 0,0984(\text{HC}) \quad (12)$$

El componente con mayor impacto positivo es la HC (0,0984), lo que la posiciona como la principal fuente de fibra en la formulación, seguida por la HQG en menor cantidad (0,0435) y, finalmente, el GM tiene un coeficiente negativo (-0,0063), indica que el maíz prácticamente no aporta fibra cruda

Con el modelo matemático seleccionado se obtuvieron los gráficos de contornos, los cuales sirven para analizar la influencia de los componentes en la variable respuesta.

Figura 20

Gráfico de contorno de mezcla del modelo lineal para fibra cruda



En la figura 20 se presenta el contorno de mezcla para la fibra cruda que muestra la variación del contenido de proteína en función de la proporción de los tres componentes de la mezcla: Grits de maíz (GM), harina de quinua germinada (HQG) y harina de cushuro (HC). Se observa que el valor más alto, 0,823% (zona roja), se encuentra en el vértice inferior del espacio de diseño entre HQG y HC; según indica la

tabla 20, este resultado coincide con la formulación T₁, que tiene el contenido más alto de HC (4,71%) y HQG (18,84). Por otro lado, el valor más bajo, 0,47% (zona azul), se encuentra en el vértice superior que corresponde al GM. Coincidiendo con la formulación T₂; esta formulación presenta el contenido más alto de GM (75,36%) y la menor proporción de HC (1,88%). La zona verde indica niveles intermedios de fibra cruda entre el 0,55 % y el 0,74 %, coincidiendo con las formulaciones T₅ y T₉; estas formulaciones presentan composiciones equilibradas entre los tres componentes.

Estudios reportados por Tovar et al. (2017), observaron un incremento notorio de fibra cruda en la harina de quinua germinada que inicialmente presentó 2,29% y 2,46% posterior a la extrusión a 105 °C. Este efecto positivo contrasta con los resultados obtenidos, donde no se observó un incremento neto de la fibra cruda. La diferencia mencionada puede atribuirse a la cantidad de materia prima empleada sin un elemento diluyente como el grits de maíz, así como al uso de las condiciones de extrusión que no fueron tan estrictas. Así mismo, Pérez (2019) informó que el contenido de fibra cruda fue más alto (3,20 ± 0,03%) al utilizar una combinación de quinua, tarwi y fécula de camote en proporciones de (57:26:17), extruida a 150 °C y con 15% de humedad. Los valores obtenidos en esta investigación fueron significativamente más bajos en comparación a este autor, lo que confirma que la cantidad de fibra cruda se determina por la proporción de ingredientes con alto contenido de fibra y del efecto térmico de la extrusión. No obstante, Muñoz et al. (2022), Verona (2022) y Moscicki (2011), mencionan que al extruir mezclas con contenidos de humedad reducidos (<20%) a temperaturas de extrusión elevadas (>110°C), se genera un perjuicio al material alimentario debido al elevado esfuerzo de cizalla generado, y por ende, la transformación de una considerable cantidad de fibra insoluble en fibra soluble o compuestos de bajo peso molecular, los cuales no son detectados por el método de análisis de fibra cruda, provocando una subestimación del contenido total. Esto explica los valores relativamente bajos observados en este estudio, así como la ausencia de diferencia significativa entre formulaciones

A pesar que el cushuro aporta predominantemente fibra soluble, como menciona Choque-Quispe et al. (2023), una parte más resistente de esta contribuye a un pequeño aumento de la fibra cruda cuando su proporción se eleva en las fórmulas. Esto se puede ver en las tendencias que aparecen en los valores experimentales y en el gráfico de contornos. Este comportamiento confirma que el cushuro actúa como un ingrediente funcional con aporte directo de fibra, aun cuando su fibra no sea predominantemente lignocelulósica.

Según el Codex Alimentarius (2009), un alimento es considerado como buena fuente de fibra dietaría si presenta (≥ 3 g/100 g o $\geq 3\%$) de fibra total en el producto. En la investigación, la formulación T₁ obtuvo mayor contenido de fibra cruda (0,83%), lo cual impide su clasificación como fuente de fibra; sin embargo, puede considerarse favorable desde el punto de vista tecnológico, ya que un menor contenido de fibra cruda favorece una mejor expansión y mayor crocancia del snack extruido, obteniendo una satisfactoria aceptabilidad sensorial, compensando parcialmente la limitación nutricional asociada al bajo aporte de fibra.

3.3. ANÁLISIS DE PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES

En la tabla 30, se presentan los valores obtenidos para las propiedades tecnofuncionales de las 9 formulaciones de snacks extruidos. Los resultados del índice de expansión (IE) oscilaron entre 3,181 y 5,034, en la densidad aparente (DA) los valores se situaron entre 0,315 y 0,412 g/cm³. Por otro lado, el índice de absorción de agua (IAA) mostró un rango de 4,509 a 5,931 g gel/g muestra. Finalmente, el índice de solubilidad en agua (ISA) varió entre 19,338% y 35,339%.

Tabla 30

Resultados obtenidos de las propiedades tecnofuncionales

F	IE	DA (g/cm ³)	IAA (g gel/g muestra)	ISA (%)
T ₁	3,181±0,665	0,412±0,008	4,509±0,515	35,339 ± 0,594
T ₂	5,034±0,296	0,320±0,012	5,931±0,354	19,338 ± 0,296
T ₃	4,272±0,279	0,361±0,005	5,603±0,475	22,433 ± 0,613
T ₄	4,967±0,247	0,339±0,015	5,317±0,162	30,162 ± 0,141
T ₅	4,398±0,572	0,336±0,007	5,206±0,136	28,185 ± 0,271
T ₆	3,822±0,658	0,386±0,010	4,654±0,544	32,158 ± 0,125
T ₇	4,688±0,374	0,315±0,004	5,629±0,476	21,566 ± 0,719
T ₈	4,306±0,520	0,332±0,010	5,591±0,493	25,684 ± 0,308
T ₉	4,503±0,565	0,328±0,004	5,330±0,096	31,023 ± 0,411

A continuación, se muestran los resultados estadísticos para estas propiedades tecnofuncionales (IE, DA, IAA e ISA). El programa Design-Expert® V.13 evaluó diferentes modelos (lineal, cuadrático, cubico especial) en función a su significancia estadística y la capacidad de ajuste.

3.3.1. Índice de expansión (IE)

a. Selección del modelo estadístico

Tabla 31

Resumen estadístico de los modelos para IE

Fuente	Valor p	Valor F	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	PRESS	
Lineal	< 0,0001	281,34	0,9894	0,9859	0,9751	0,0659	Sugerido
Cuadrático	0,9591	0,0928	0,9903	0,9743	0,6791	0,8478	
Especial	0,5949	0,5949	0,9919	0,9677		*	
Cúbico							

De acuerdo a la tabla 31, se evidencia que el modelo lineal presenta un valor de $p < 0,0001$, siendo altamente significativo ($p < 0,05$); mientras que los modelos cuadrático y especial cúbico presentan falta de significancia con valores de p de 0,9591 y 0,5949, respectivamente. No obstante, el modelo especial cúbico presenta el coeficiente de determinación más elevado ($R^2 = 0,9919$); sin embargo, no presentó validez predictiva, lo que invalida su uso para predicciones. Por el contrario, el modelo lineal presenta un R^2 ajustado y R^2 previsto superior al modelo cuadrático y presenta el menor valor de PRESS (0,0659), confirmando que tiene menor error de predicción entre las opciones evaluadas. Por lo tanto, se eligió el modelo lineal como el mejor para explicar el efecto entre las cantidades de GM, HQG y HC en relación con el índice de expansión.

b. Análisis de varianza (ANVA) del modelo seleccionado

Tabla 32

Análisis de varianza para el modelo lineal de IE

Fuente	Suma de cuadrados	de df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	2,61	2	1,31	281,34	< 0,0001	Significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	2,61	2	1,31	281,34	< 0,0001	
Residual	0,0279	6	0,0046			
Cor Total	2,64	8				

El análisis de varianza (ANVA) para el índice de expansión determinó que el modelo lineal es estadísticamente significativo ($p < 0,05$), con un valor F de 281,34.

Estos resultados confirman que las variaciones en las proporciones de grits de maíz, harina de quinua germinada y harina de cushuro impactan de manera importante en el índice de expansión del snack extruido.

c. Estadísticos de ajuste y precisión

Tabla 33

Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para el IE

Desv. estándar	Media	CV %	R²	R² ajustado	R² previsto	Precisión adecuada
0,0682	4,35	1,57	0,9894	0,9859	0,9751	45,9263

El R² previsto de 0,9751 presenta una buena concordancia con el R² ajustado de 0,9859; es decir, la diferencia es inferior a 0,2, lo que indica una adecuada capacidad predictiva. La precisión adecuada presentó un valor de 45,926, muy superior a 4, lo que demuestra que el modelo tiene una alta capacidad para discriminar los efectos reales de las variables sobre la respuesta, por lo que puede utilizarse de manera confiable para explorar el espacio de diseño.

La ecuación obtenida para el modelo seleccionado permitió cuantificar el aporte individual de cada componente y es la siguiente:

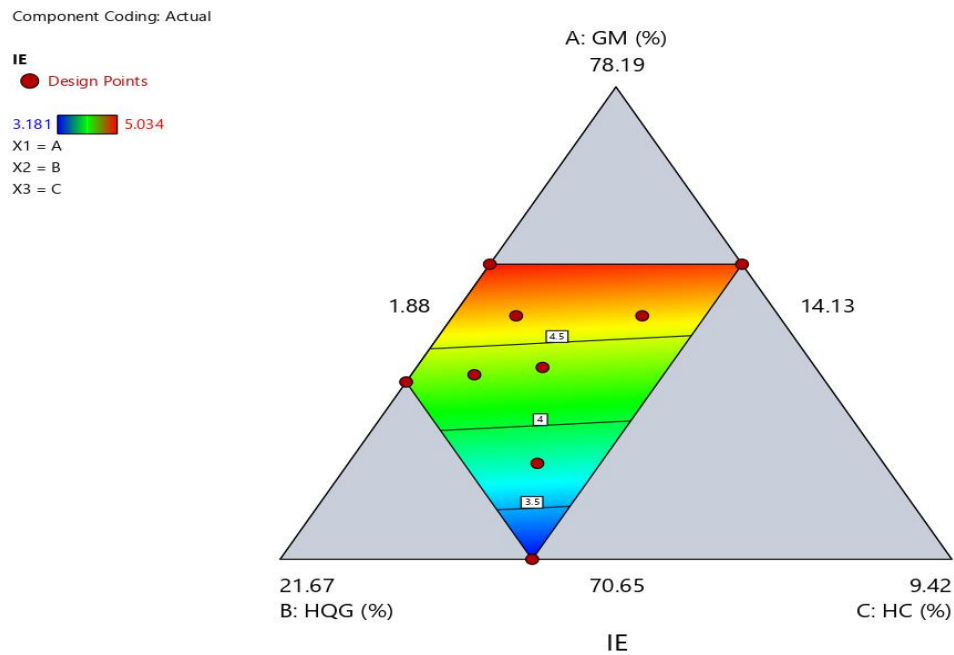
$$IE = 0,1270(GM) - 0,2403(HQG) - 0,2676(HC) \quad (13)$$

El GM es el único componente con un coeficiente positivo (+0,1270). Esto indica que es el agente responsable de la expansión del snack. A mayor cantidad de GM, mayor será el volumen y la porosidad del producto. Mientras que la HQG y HC: ambos tienen coeficientes negativos (-0,2403 y -0,2676, respectivamente). Esto indica que, aunque contribuyen a la mezcla, su capacidad para generar expansión por sí mismos es limitada en comparación con el almidón del maíz. La HC tiene un efecto ligeramente más negativo que la HQG.

Con el modelo estadístico seleccionado se obtuvieron los gráficos de contornos, los cuales sirven para analizar la influencia de los componentes de la mezcla en la variable respuesta.

Figura 21

Gráfico de contorno de mezcla del modelo lineal para el IE



La figura 21 muestra el gráfico de contornos del índice de expansión (IE), en el cual se ilustra el efecto combinado de las proporciones de grits de maíz (GM), harina de quinua germinada (HQG) y cushuro (HC) sobre la expansión del snack extruido. Donde el valor más alto (5,034) se encuentra en la zona roja (vértice superior). Según la tabla 30; este valor coincide con la formulación T_2 , que tiene mayor proporción de GM (75,36%) y menor nivel de HC (1,88%). Por otro lado, el punto con el mínimo valor de expansión (3,181) está en la zona azul (vértice inferior) y corresponde a la formulación T_1 , que tiene mayor contenido de HC (4,71%) y HQG (18,84%). La zona verde presenta las formulaciones más equilibradas, tales como T_5 , T_3 y T_8 (4,398, 4,272 y 4,306), que muestran valores de expansión intermedios, obteniendo un snack con una porosidad moderada.

Según Qiu et al. (2024), cuando se aumenta la cantidad de almidón en una mezcla, el extruido se expande más, debido a las propiedades reológicas de la amilosa y amilopectina. Este comportamiento se verificó al comparar las formulaciones T_2 y T_1 de la presente investigación; al aumentar el porcentaje de grits de maíz y reducir las harinas de quinua germinada y cushuro, el IE se incrementó de 3,181 a 5,034. No obstante, Bordoloi & Ganguly (2014) establecen que el límite máximo de almidón para conseguir una excelente expansión está entre 60 y 70%; por encima de este, el almidón puede crear algunos desafíos durante la extrusión, ya que puede llegar a producir

extruidos muy pegajosos. Por otro lado, el contenido de humedad inicial de la mezcla de los componentes es un factor determinante en la expansión de los snacks.

De acuerdo con Pérez (2019), niveles de humedad entre 12% y 22% facilitan la gelatinización y la generación de vapor necesaria para la expansión. En este estudio, se trabajó con humedades iniciales óptimas, lo que permitió obtener un rango de IE de 3,18 a 5,03. Estos valores son superiores a los reportados por Lavado (2022) y Verona (2022), quienes obtuvieron índices de 1,00 a 2,31 en snacks de granos andinos germinados. Cabe destacar que no existe una norma que establezca un valor obligatorio de expansión de snacks extruidos; sin embargo, los valores de referencia de los snacks extruidos de almidón de maíz presentan 4,0 de índice de expansión, los cuales son aceptables por los consumidores; así mismo, Valderrama et al. (2021) indica que para una buena expansión y textura crujiente, los valores de 1,4 – 4,0 indican calidad adecuada, nuestros resultados superan el valor de referencia de 4,0.

Según Valenzuela et al. (2011) y Muñoz et al. (2022) confirman que la proteína y la fibra cruda actúan como agentes restrictores de la expansión. En particular, Chasquibol et al. (2024) y Cutipa (2022) mencionan que el cushuro aporta polisacáridos funcionales, pero su exceso limita la expansión al retener humedad. Esto explica por qué las formulaciones con mayor contenido de cushuro presentaron los valores más bajos de IE. En consecuencia, el índice de expansión se consolida como un parámetro de calidad inversamente relacionado con el contenido de proteína, fibra y humedad residual del snack.

3.3.2. Densidad aparente (DA)

a. Selección del modelo estadístico

Tabla 34

Resumen estadístico de los modelos para DA

Fuente	Valor p	Valor F	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	PRESS	
Lineal	0,0029	18,08	0,8577	0,8102	0,6079	0,0033	Sugerido
Cuadrático	0,0626	7,82	0,9839	0,9570	0,4233	0,0049	
Especial	0,8823	0,0281	0,9841	0,9363		*	
Cúbico							

De acuerdo con la tabla 34, se evidencia que el modelo lineal presenta un valor de p =0,0029, siendo altamente significativo (p <0,05); mientras que los modelos

cuadráticos y especial cúbico presentan falta de significancia con valores de p de 0,0626 y 0,8823, respectivamente por lo que fueron descartados. Por el contrario, el modelo lineal presenta R^2 ajustado y R^2 previsto con buena concordancia, además de presentar el menor valor de PRESS (0,0033), confirmando que tiene menor error de predicción entre las opciones evaluadas. Por lo tanto, se seleccionó el modelo lineal como el más adecuado para explicar el efecto entre las cantidades de grits de maíz, harinas de quinua germinada y cushuro con respecto a la densidad aparente.

b. Análisis de varianza (ANVA) del modelo seleccionado

Tabla 35

Análisis de varianza para el modelo lineal de DA

Fuente	Suma de cuadrados	de df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	0,0073	2	0,0036	18,08	0,0029	Significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	0,0073	2	0,0036	18,08	0,0029	
Residual	0,0012	6	0,0002			
Cor Total	0,0085	8				

El análisis de varianza (ANVA) revela que el modelo lineal para la densidad aparente es altamente significativo ($p=0,0029$); de igual forma el valor de $F=18,08$, indica que los componentes de la mezcla influyen de manera importante sobre la respuesta evaluada, demostrando que la variabilidad explicada por el modelo es significativamente superior al error experimental.

c. Estadísticos de ajuste y precisión

Tabla 36

Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para la DA

Desv. estándar	Media	CV %	R^2	R^2 ajustado	R^2 predictivo	Precisión adecuada
0,0142	0,3477	4,08	0,8577	0,8102	0,6079	12,2462

En la tabla 36, se observa que el R^2 ajustado y el R^2 predictivo no presenta una buena concordancia lo cual quiere decir que el modelo no tiene una predicción adecuada y puede estar sobreajustando los datos. Por otro lado, el valor de precisión adecuada es 12,2462 el cual es superior a 4. Esto indica que el modelo puede utilizarse para navegar por el espacio de diseño.

Las ecuaciones de regresión para la variable respuesta densidad aparente (DA) es:

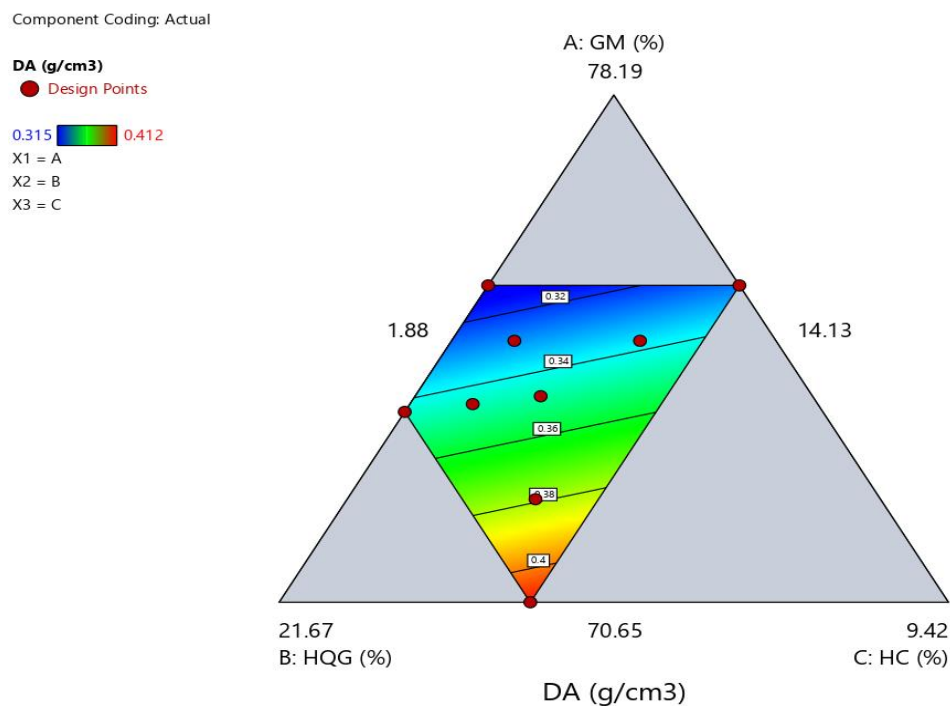
$$DA = -0,0004 (GM) + 0,0175(HQG)+ 0,0232(HC) \quad (14)$$

La ecuación lineal muestra que la HC tiene el coeficiente más alto (0,0232). Es el componente con mayor impacto en el aumento de la densidad aparente, seguido por la HQG, pero en menor medida (0,0175). Por el contrario, el GM presenta el coeficiente negativo (-0,0004). Esto confirma que el GM es el responsable de aligerar el snack favoreciendo una estructura más aireada y de baja densidad.

Con el modelo matemático seleccionado se obtuvieron los gráficos de contornos, los cuales sirven para analizar la influencia de los componentes de la mezcla en la variable respuesta

Figura 22

Gráfico de contorno de mezcla del modelo lineal para la DA



La figura 22 representa el comportamiento de la densidad aparente (DA) en función de los componentes. La zona roja (vértice inferior) presenta valores altos de DA (0,412 g/cm³); este incremento en la DA coincide con la formulación T₁, que contiene mayor nivel de HC (4,71%) y HQG (18,84%). Mientras que la zona azul (vértice superior) presenta el valor mínimo (0,315 g/cm³), lo que coincide con formulaciones T₇ y T₂ con predominio de GM y bajas cantidades de HQG y de HC; esto se debe a la presencia de almidón gelatinizable en el GM, lo que aumenta su expansión durante la extrusión,

reduciendo así su densidad aparente. La zona verde representa el área de comportamiento intermedio o equilibrado donde la DA oscila entre $0,361 \text{ g/cm}^3$ y $0,386 \text{ g/cm}^3$, lo que coincide con las formulaciones T_3 y T_6 . En esta zona, la concentración de proteínas y fibra dietética no alcanza el umbral crítico que colapsa la estructura alveolar del extruido. Por el contrario, estos componentes actúan como agentes de refuerzo en las paredes de las celdas de aire, permitiendo obtener un snack con una densidad controlada.

Los valores obtenidos ($0,315 - 0,412 \text{ g/cm}^3$) resultaron superiores a los reportados por Lázaro y Sotelo (2017), quienes obtuvieron $0,15 \text{ g/cm}^3$ en su formulación con 63% grits de maíz, 32% harina de quinua y 5% harina de garbanzo. Asimismo, difieren de lo reportado por Pérez (2019), quien registró $0,19 \text{ g/cm}^3$ utilizando una formulación de 68,84% fécula de camote, 16% harina de quinua y 15,16% harina de tarwi. Por su parte, Lavado (2022) y Verona (2022) obtuvieron una densidad de $0,19 \text{ g/cm}^3$ empleando una mezcla equitativa de 50% grits de maíz y 50% harina de quinua germinada. Esta diferencia se atribuye principalmente a la naturaleza estructural del cushuro. A diferencia de las leguminosas o tubérculos usados por los autores citados, el cushuro aporta una elevada concentración de polisacáridos hidrofílicos y fibra soluble que, durante la termoplastificación, formaron una matriz más gomosa y cohesiva. Dicho comportamiento, sumado a la retención de humedad residual descrita por Chasquibol et al. (2024), redujo el esfuerzo de cizalla y la presión en el cabezal del extrusor, derivando en una expansión limitada y una mayor compactación del producto final.

Este comportamiento concuerda con lo mencionado por Guy (2001) y Valenzuela et al. (2011), quienes indican que mezclas ricas en almidón, especialmente con predominio de amilopectinas, presentan mayores estructuras porosas, traduciéndose en menores valores de densidad aparente. De manera similar, Repo-Carrasco et al. (2011) señalan que el uso de cereales ricos en almidón en formulaciones extruidas contribuye significativamente a la reducción de la densidad aparente.

En términos generales, la comparación de investigaciones anteriores ratifica que las proporciones de los ingredientes tienen un fuerte impacto en la densidad aparente de los snacks extruidos. El almidón del grits de maíz es el componente más importante en cuanto a la expansión y disminución de densidad aparente; por otro lado, cuando aumentan los pseudocereales y otros componentes ricos en proteínas y fibra, la compactación del producto suele elevarse.

3.3.3. Índice de absorción de agua (IAA)

a. Selección del modelo estadístico

Tabla 37

Resumen estadístico de los modelos para IAA

Fuente	Valor p	Valor F	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	PRESS	
Lineal	0,0001	58,95	0,9516	0,9354	0,8705	0,2247	Sugerido
Cuadrático	0,5408	0,8796	0,9742	0,9313	0,3869	1,06	
Especial							
Cúbico	0,6802	0,2279	0,9769	0,9075		*	

De acuerdo a la tabla 37 para el índice de absorción de agua (IAA), se evidencia que el modelo lineal presenta el mayor valor de $p=0,0001$ siendo altamente significativo ($p<0,05$); mientras que los modelos cuadrático y especial cúbico no presentaron significancia con valores de p de 0,5408 y 0,6802, respectivamente. En cambio, el R^2 ajustado incluso baja de valor cuando el término que se agrega no aporta nada. El modelo especial cubico presenta el valor más alto $R^2 = 0,9769$; sin embargo, no tiene capacidad predictiva, lo que lo inválida su uso para predicciones. Por el contrario, el modelo lineal presenta mayor valor de R^2 ajustado y R^2 previsto superando la robustez del modelo cuadrático. Además, presenta el menor valor de PRESS (0,2247). Por consiguiente, se seleccionó el modelo lineal como el más adecuado para explicar la relación entre las cantidades de GM, HQG y HC con respecto al IAA.

b. Análisis de varianza (ANVA) del modelo seleccionado

Tabla 38

Análisis de varianza del modelo lineal para el IAA

Fuente	Suma de cuadrados	de df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	1,65	2	0,8257	58,95	0,0001	Significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	1,65	2	0,8257	58,95	0,0001	
Residual	0,0840	6	0,0140			
Cor Total	1,74	8				

El análisis de varianza (ANVA) del modelo lineal para el índice de absorción de agua (IAA) muestra que el modelo es estadísticamente significativo ($p=0,0001<0,05$), lo

que indica que los componentes grits de maíz amarillo, harinas de quinua germinada y cushuro si tienen un efecto significativo sobre la variable evaluada. Asimismo, el valor de $F=58,95$ respalda la relevancia del modelo, demostrando que el modelo es estadísticamente sólido.

c. Estadísticos de ajuste y precisión

Tabla 39

Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para el IAA

Desv. estándar	Media	CV %	R²	R² ajustado	R² previsto	Precisión adecuada
0,1183	5,31	2,23	0,9516	0,9354	0,8705	22,6919

El valor de R^2 indica que el modelo explica el 95,16% de la variabilidad de los datos, lo que demuestra un ajuste excelente entre los valores experimentales y los predichos. El R^2 ajustado y el R^2 previsto presentan una diferencia de apenas 0,0649, cumpliendo ampliamente con el criterio de ser inferior a 0,2. Esta cercanía garantiza que el modelo no solo explica los datos actuales, sino que tiene una alta capacidad para predecir nuevos resultados. Por otro lado, el valor superior a 4 es aceptable; el resultado obtenido de 22,6919 supera con creces este límite, indicando una señal muy robusta.

La ecuación obtenida para el modelo seleccionado de la variable IAA permite cuantificar el aporte individual de cada componente y es la siguiente:

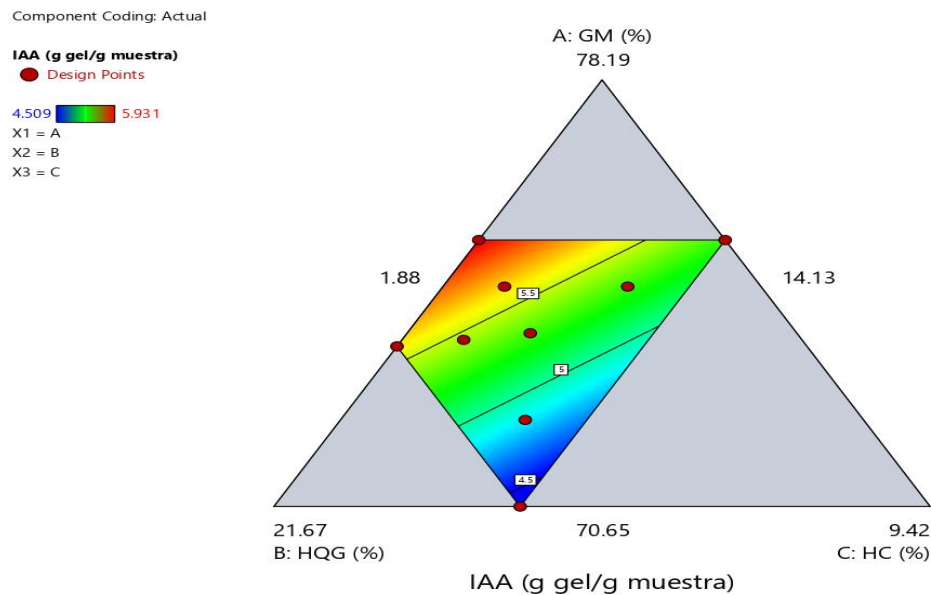
$$IAA = +0,1055(GM) - 0,0827(HQG) - 0,3174(HC) \quad (15)$$

El GM es el único componente con coeficiente positivo (0,1055). Esto indica que el GM es el principal responsable del IAA, ya que su alto contenido de almidón favorece la absorción de agua tras la gelatinización, creando sitios activos que atrapan moléculas de agua. En cambio, la HQG tiene un coeficiente negativo (-0,0827). Este tiende a disminuir el IAA, posiblemente porque las proteínas de quinua recubren los gránulos de almidón del maíz, dificultando su hidratación. La HC presenta el impacto negativo más fuerte (-0,3174). Esto indica que la HC, al ser rica en proteínas y fibras, actúa como un disruptor de la matriz de almidón gelatinizado, reduciendo el IAA.

Con el modelo matemático seleccionado se obtuvieron los gráficos de contornos, los cuales sirven para analizar la influencia de los componentes de la mezcla en la variable respuesta

Figura 23

Gráfico de contorno de mezcla del modelo lineal para IAA



La figura 23 representa el efecto de la mezcla ternaria compuesta por grits de maíz (GM), harina de quinua germinada (HQG) y harina de cushuro (HC) sobre el índice de absorción de agua (IAA). La zona de máximo IAA (color rojo) se ubica hacia en el vértice superior del triángulo, alcanzando su valor más alto (5,931 g gel/g), lo que coincide con la formulación T_2 con predominio de GM y bajo contenido de HQG y HC. Esto se debe a la presencia de almidón gelatinizable en los GM, lo que aumenta su capacidad de retención de agua. Por el contrario, la zona azul representa el valor mínimo de 4,509 g gel/g, se localiza hacia el vértice inferior con predominio de HQG y HC, lo que coincide con la formulación T_1 . Esta reducción del IAA se explica por la alta concentración de proteínas y fibra de estos componentes. Finalmente, la zona verde atraviesa el centro del diseño; en esta región, el efecto incremental del GM es equilibrado por la presencia moderada de HQG y HC, lo que coincide con las formulaciones T_9 (5,330 g gel/g) y T_5 (5,206 g gel/g).

Estos resultados obtenidos difieren a los de Lavado (2022), quien evaluó extruidos de harinas de pseudocereales germinados y encontró que, a mayor porcentaje de harina de quinua germinada, mayor es el IAA (5,96%). En particular, cuando empleó una mezcla 100 % de harina de quinua germinada. Asimismo, Lázaro y Sotelo (2017) reportaron valores de índices de absorción de agua entre 5,3 y 7,2% para extruidos de grits de maíz con harinas de quinua y garbanzo; donde la formulación con mayor contenido de harina de quinua presentó un incremento del IAA, mientras que los menores valores se asociaron a un mayor contenido de harina de garbanzo. Esta

diferencia puede atribuirse a las condiciones de procesamiento y la naturaleza de las materias primas, como la variedad de quinua empleada, las condiciones de extrusión, así como la humedad inicial de la mezcla, que es un factor determinante en la gelatinización del almidón. Por el contrario, Mendoza y Salazar (2025) reportaron que el índice de absorción de agua aumenta a 5,653 g gel/g en su formulación (80 % maíz, 15% quinua, 5% hierro hemínico), lo que coincide con el comportamiento observado en las formulaciones con predominio de grits de maíz. De manera similar, Taimal (2019) obtuvo valores de índice de absorción de agua entre 4,16 y 5,61 g gel/g muestra en snacks extruidos. Quien observó que el IAA aumentó al aumentar el contenido de humedad en la mezcla de 15% a 20%, especialmente cuando emplearon altas temperaturas de extrusión (110 °C), lo cual contribuyó a una mayor gelatinización del almidón, esto indica que el almidón de GM es el esqueleto fundamental para la absorción. Por otro lado, Muñoz et al. (2022) señalan que, en formulaciones con predominio de harina de quinua hiperproteica, la capacidad de absorción de agua puede ser limitada debido a la interacción de los grupos hidrofílicos del almidón y las proteínas presentes, lo que afecta el comportamiento del IAA.

Finalmente, según Parra (2005), la desnaturalización de proteínas, la gelatinización del almidón y el hinchamiento de la fibra son los responsables del incremento del IAA. Sin embargo, en este estudio se confirma que la adición de harinas con alto contenido de fibra dietética compleja, como el cushuro, tiende a reducir el IAA (como se observa en el gradiente hacia la zona azul del gráfico de contornos). Esto se debe a que dicha fibra compite por el agua disponible, reduciendo la capacidad de las moléculas de almidón para retener agua y expandirse.

3.3.4. Índice de solubilidad en agua (ISA)

a. Selección del modelo estadístico

Tabla 40

Resumen estadístico de los modelos para ISA

Fuente	Valor p	Valor F	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	PRESS	
Lineal	0,0001	56,87	0,9499	0,9332	0,8703	30,31	Sugerido
Cuadrático	0,4132	1,32	0,9784	0,9423	0,7267	63,85	
Especial	0,8850	0,0268	0,9787	0,9146		*	
Cúbico							

De acuerdo con la tabla 40, se evidencia que el modelo lineal presenta un valor de $p = 0,0001$, siendo altamente significativo ($p < 0,05$); los modelos cuadrático y especial cúbico fueron rechazados debido a su falta de significancia estadística con valores p de 0,4132 y 0,8850 respectivamente. Por el contrario, el modelo lineal presenta un R^2 ajustado y R^2 previsto altos, mientras que el modelo cuadrático sufre un descenso hasta 0,7267 en su R^2 previsto. Esta pérdida de precisión se refleja en el estadístico PRESS, el cual se duplicó de 30,31 (lineal) a 63,85 (cuadrático). Estas métricas confirman que los modelos superiores incurren en un sobreajuste, capturando el ruido experimental en lugar de la tendencia real del proceso. Por consiguiente, se seleccionó el modelo lineal como el más adecuado para describir el comportamiento del ISA.

b. Análisis de varianza (ANVA) del modelo seleccionado

En la tabla 41, se presentan los resultados del análisis de varianza (ANVA) para índice de absorción en agua (ISA). El modelo seleccionado mediante el programa permitió evaluar la significancia estadística de las proporciones de los componentes de la mezcla sobre la capacidad de absorción de agua del snack, así como analizar el impacto de las diferentes formulaciones.

Tabla 41

Análisis de varianza del modelo lineal para el ISA

Fuente	Suma de cuadrados	de df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	221,92	2	110,96	56,87	0,0001	Significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	221,92	2	110,96	56,87	0,0001	
Residual	11,71	6	1,95			
Cor Total	233,63	8				

El análisis de varianza (ANVA) para el ISA demostró que el modelo lineal es altamente significativo con un valor p es 0,0001 menor a 0,05, y un valor F de 56,87, demostrando que la solubilización de los componentes durante la extrusión depende estrictamente del balance entre la matriz de almidón de maíz y el aporte de sólidos solubles de las harinas de quinua germinada y cushuro

c. Estadísticos de ajuste y precisión

Tabla 42

Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para el ISA

Desv. estándar	Media	CV %	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	Precisión adecuada
1,40	27,32	5,11	0,9499	0,9332	0,8703	20,3915

El coeficiente de determinación R², indica que el modelo explica el 94,99% de la variabilidad observada. La variación entre R² ajustado y el previsto inferior a 0,2, junto a con una precisión adecuada de 20,39 mayor a 4, indica una señal adecuada. Este modelo puede utilizarse para explorar el espacio de diseño.

Se muestra la ecuación que explica al modelo:

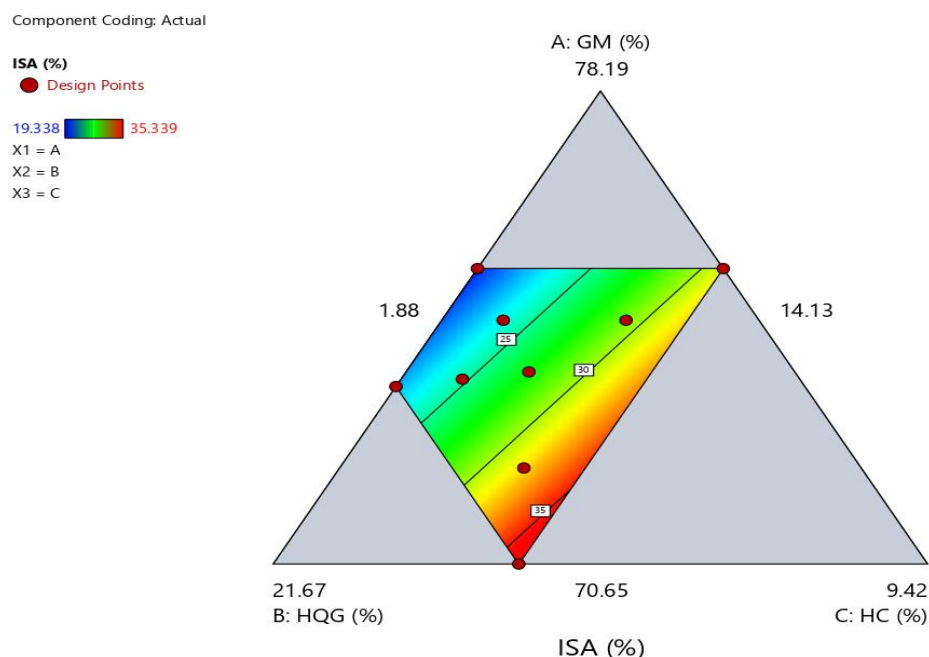
$$ISA = -0,0953(GM) + 1,0478(HQG) + 4,9562(HC) \quad (16)$$

La HC tiene un coeficiente positivo (4,9562). Esto indica que es el componente que incrementa el ISA en el snack. la HQG (1,0478) también aporta una solubilidad, aunque en menor medida. El GM tiene un coeficiente negativo (-0,0953), indica que es la que menos aporta a la solubilidad.

Con el modelo matemático seleccionado se obtuvieron los gráficos de contornos,

Figura 24

Gráfico de contorno de mezcla del modelo lineal para ISA



En la figura 24 se presenta el gráfico de contornos para el índice de solubilidad en agua (ISA). Donde que el valor máximo de 35,339% (zona roja) se ubica hacia el vértice inferior del lado derecho con predominio de harina de cushuro, coincidiendo con la formulación T₁. Esta formulación posee el nivel más alto de harina de cushuro (4,71%) y el más bajo de grits de maíz (70,65%), lo cual sugiere que los polisacáridos solubles y gomas naturales del cushuro se fragmentan durante la extrusión, facilitando su solubilización en agua. Mientras que el valor más bajo de ISA (19,338%) se ubica en la zona azul, con predominio de grits de maíz que coincide con la formulación T₂. Esta formulación cuenta con el nivel mínimo de cushuro (1,88 %) y el contenido más alto de grits de maíz (75,36 %). Por otro lado, las formulaciones situadas en la zona verde presentan valores intermedios de ISA (28,185%) (31,023%) como T₅ y T₉. En estos puntos, las proporciones de quinua y cushuro generan un equilibrio en la matriz del snack, moderando la liberación de sólidos extraíbles.

Resultados similares fueron reportados por Lavado (2022) quien reportó que a mayor harina de cañihua germinada, mayor es el valor (24,85%) de ISA. En el caso de la influencia de la harina de quinua germinada en los extruidos, también tiene un valor alto, pero inferior a la cañihua (24,75%). Según Bravo y Ortega (2017), valores entre 18 y 30 % indican suficiente degradación del almidón. Taimal (2019) indica que a mayor temperatura de extrusión se incrementa el grado de degradación de almidón, aumentando la cantidad de almidón soluble. Por ello se da el mayor contenido de ISA. Igualmente, la inclusión de alimentos con elevados niveles de fibra incrementa el ISA del extruido.

Según Tovar et al. (2017) y Parra (2005), la conducta del ISA en los materiales extruidos es el resultado de modificaciones en los parámetros individuales o de la sumatoria de todos estos. Esto se origina, sobre todo, por la composición química y molecular de las materias primas, ya que esta determina su reacción al cizallamiento y al calentamiento. Chasquibol et al. (2024) menciona que el cushuro se compone principalmente de polisacáridos solubles, proteínas y fibras solubles, las cuales están relacionadas con su viscosidad alimentaria. Dichos componentes no generan estructuras expansibles y tienen una alta afinidad con el agua. Estos, al ser sometidos al proceso de extrusión, sufrieron una desestructuración, generando fracciones altamente solubles que dieron como resultado el incremento del ISA. A diferencia del grits de maíz y la quinua germinada, el cushuro no aporta almidón gelatinizable, sino polímeros amorfos más susceptibles a la ruptura. Lo que favoreció la formación de dextrinas y sólidos solubles. Mientras que los grits de maíz, cuyo componente principal

es el almidón, tienen un comportamiento distinto, ya que su degradación no es completa bajo condiciones moderadas de temperatura (140 °C), por lo que genera pocas fracciones solubles. Esto confirma que el almidón poco degradado tiene menos solubilidad y requiere mayor energía mecánica para romper sus enlaces y crear dextrinas.

En términos generales, los estudios previos demuestran que la composición de la formulación tiene un impacto significativo en el ISA, sobre todo la relación entre los componentes con alto contenido de polisacáridos solubles, que aquellos con mayor cantidad de almidón. Por lo tanto, el incremento de cushuro y harina de quinua germinada eleva los valores de ISA, mientras que una mayor proporción de grits de maíz provoca que este parámetro disminuya. Esto corrobora la importancia fundamental que tiene la matriz estructural del snack extruido en su conducta con respecto al agua.

3.3.5. Color instrumental

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en la determinación del color mediante las lecturas de los parámetros. Donde la formulación T₂ presenta mayor luminosidad (L*), mayor cromaticidad a* y la T₄ presenta mayor cromaticidad b*.

Tabla 43

Resultados de los parámetros de color L, a* y b**

F	GM	HQG	HC	L*	a*	b*
T1	70,65	18,84	4,71	67,713±0,820	5,734±0,343	24,583±0,761
T2	75,36	16,96	1,88	71,977±0,100	7,113±0,011	28,185±0,098
T3	73,48	18,84	1,88	70,933±0,064	6,949±0,119	26,894±0,102
T4	75,36	14,13	4,71	68,143±0,102	5,713±0,012	28,332±0,186
T5	73,71	17,19	3,30	69,453±0,361	6,056±0,037	27,411±0,526
T6	72,18	18,02	4,00	66,855±0,105	5,890±0,105	25,175±0,101
T7	74,53	17,08	2,59	69,956±0,030	6,263±0,107	27,894±0,099
T8	73,59	18,02	2,59	70,494±0,997	6,414±0,830	27,184±0,962
T9	74,53	15,66	4,00	68,090±0,066	5,720±0,254	27,780±0,258

En la tabla 43, los valores altos de luminosidad (negro 0/blanco 100) del extruido fueron de (71,98) para T₂, mostrando un snack más claro, mientras que T₆ (66,72) fue el más bajo, demostrando extruidos más oscuros o tostados. Los valores del parámetro a* (verde-/rojo+) van del menor T₉ (5,7), mostrando tonalidades verdosas, al mayor T₂ (7,11), que presenta matices más marrones. Los valores del parámetro b* (azul-/amarillo +) van al menor T₁ (24,58), que presenta tonos en marrón claro. El mayor T₄ (28,03), que muestra tonos más claros, acercándose al amarillo con ligera tendencia a marrón.

a. Selección del modelo estadístico

Tabla 44

Resumen de modelos estadísticos para los parámetros de color

Parámetro	Modelo	Valor P	Valor F	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	PRESS	
L*	Lineal	0,003	18,240	0,859	0,812	0,499	11,460	Sugerido
	Cuadrático	0,403	1,360	0,940	0,841	0,386	14,050	
	Cúbico especial	0,353	1,440	0,965	0,861			
a*	Lineal	0,002	22,790	0,884	0,845	0,649	0,788	Sugerido
	Cuadrático	0,094	5,680	0,983	0,954	0,386	1,380	
	Cúbico especial	0,641	0,295	0,985	0,939			
b*	Lineal	< 0,001	63,740	0,955	0,940	0,911	1,250	Sugerido
	Cuadrático	0,603	0,721	0,974	0,930	0,205	11,090	
	Cúbico especial	0,455	0,846	0,982	0,927			

La tabla 44 muestra que, de todos los modelos evaluados para los parámetros de color instrumental mediante el programa Design-Expert V.13, el modelo lineal fue el más apropiado porque posee una significancia estadística ($p < 0,05$) y valores altos de F, lo cual demuestra una relación confiable entre las variables. A pesar de que los modelos cúbico especial y cuadrático mostraron valores de R² un poco más altos, no fueron estadísticamente significativos ($p > 0,05$). Además, el modelo lineal mostró valores de R² previsto más altos y valores de PRESS más bajos, indicando una mejor capacidad predictiva y menor error de predicción.

b. Análisis de varianza (ANVA) del modelo seleccionado

Para los parámetros de color se utilizó el modelo lineal, puesto que nuestro ANVA en relación a un análisis con modelo cuadrático transformaba la significancia de los criterios L*, a* y b* a no significativa en términos de sus interacciones.

Según el análisis estadístico ANVA que se muestra en el anexo 3, existen diferencias significativas para los parámetros de color y se ven influenciados por la composición de la mezcla de grits de maíz (GM), harina de quinua germinada (HQQ) y harina de cushuro (HC), encontrando diferencias significativas ($p < 0,05$). Los valores de F obtenidos para los modelos fueron F = 18,24 con $p = 0,0028$ para L*, F = 22,79 con 0,0016 para a* y F = 63,74 con $p = 0,0001$ para b*, lo que confirma que los modelos son estadísticamente significativos. La luminosidad (L*), la tonalidad rojo-verde (a*) y la

tonalidad amarillo–azul (b^*) no varían de manera aleatoria, sino que están directamente determinadas por las proporciones de los componentes de la mezcla, siendo el parámetro b^* el más influenciado por la formulación, debido a su mayor valor F, evidenciando una mayor sensibilidad a los cambios en la composición.

c. Estadísticos de ajuste y precisión

Tabla 45

Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para color instrumental

Color	Desv. estándar	Media	CV %	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	Precisión adecuada
L*	0,7341	69,28	3,36	0,8837	0,8116	0,4994	10,7303
a*	0,2087	27,05	3,36	0,8837	0,8449	0,6490	10,7367
b*	0,3233	0,348861	1,20	0,9550	0,9401	0,9106	21,6763

En los parámetros de color, el modelo de L* presenta una baja capacidad predictiva, ya que el R² predicho (0,4994) difiere considerablemente del R² ajustado (0,8116), aunque su Adeq Precisión (10,730) indica señal adecuada para exploración. En contraste, los modelos de a* y b* muestran buena y alta capacidad predictiva, respectivamente, con diferencias menores a 0,2 entre R² ajustado y predicho, destacando b* como el más confiable (R² predicho = 0,9106). En todos los casos, la precisión adecuada es mayor a 4, por lo que los modelos se pueden utilizar para explorar el espacio de diseño. aunque L* requiere validación adicional debido a su limitada capacidad predictiva. Sin embargo, fue utilizado de manera referencial para analizar tendencias en el comportamiento del color.

Las ecuaciones de regresión para los parámetros de color instrumental son:

$$L^* = 0,823 (GM) + 0,627(HQG) - 0,654(HC) \quad (17)$$

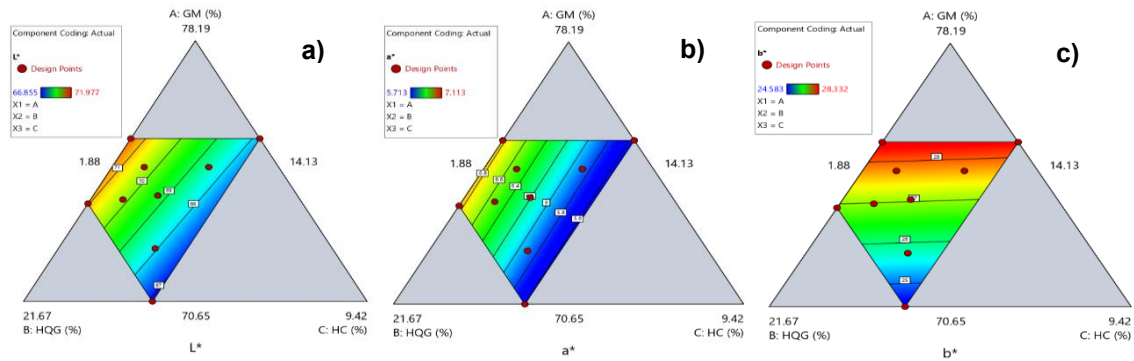
$$a^* = 0,079(GM) + 0,090(HQG) - 0,360(HC) \quad (18)$$

$$b^* = 0,470(GM) - 0,366(HQG) - 0,403(HC) \quad (19)$$

En la luminosidad (L*), los GM (0,823) y HQG (0,627) presentan efectos positivos, aumentando a medida que se incrementa su proporción, mientras que HC (-0,654) la reduce. Para a* (verde-/rojo+), el GM (0,079) y HQG (0,090) incrementan ligeramente el valor, mientras que la HC (-0,360) lo reduce de manera significativa. En b* (azul-/amarillo+), el GM (0,470) eleva el valor, mientras la HQG (-0,366) y HC (-0,404) lo disminuyen

Figura 25

Gráfico de contornos de los parámetros del color instrumental L^ , a^* y b^**



Nota. a) Luminosidad (L^*), b) Cromaticidad a^* y c) Cromaticidad b^*

La figura 25 se observa que los gráficos de contornos muestran que los parámetros de color (L^* , a^* , b^*) en función de las proporciones de grits de maíz (GM), harinas de quinua germinada (HQG) y de cushuro (HC). Las áreas de color rojo indican valores altos y las zonas de color azul indican valores bajos. Donde la luminosidad (L^*) mostró un incremento al aumentar el GM. Por el contrario, las formulaciones con mayor contenido de HC y HQG presentaron valores bajos. El parámetro a^* aumentó en las formulaciones con mayor contenido de HQG y GM. En cambio, al incrementar HC, los valores de a^* disminuyeron, reflejando una reducción de la tonalidad rojiza en el snack. En el parámetro b^* , los valores altos están relacionados con una mayor cantidad de grits de maíz y un menor contenido de harinas de cushuro y quinua germinada. Por el contrario, si hay más harina de cushuro, disminuye la tonalidad amarilla. Finalmente, la formulación con equilibrio fue T_5 , que logró un balance óptimo con $L^* = 69,45$ $a^* = 6,07$ y $b^* = 27,41$

Los resultados evidenciaron que, al aumentar la HQG y HC, generan una disminución de la luminosidad L^* . Esto se observó en las formulaciones T_1 , indicando el color azul en los extruidos al mezclar estos ingredientes. Este comportamiento se asocia al color intenso de la HC, que redujo la reflectancia del producto, lo que explica el oscurecimiento observado. Los valores de enrojecimiento a^* se concentraron en las formulaciones con mayor contenido de GM. Esto se observó en la formulación T_2 (7,1), que evidenció un color rojo marrón. El amarillamiento b^* destacó en las formulaciones T_2 y T_4 (28,18-28,33), que son las que tienen mayor contenido de grits de maíz. Esto significa que el tono amarillento del snack extruido es debido a los pigmentos carotenoides del maíz, generando productos más claros y de tonalidades amarillentas-rojizas. Muñoz et al. (2022) realizó una comparación para el parámetro color en snacks

extruidos a base de maíz, quien logró ($L^* = 62,68$; $a^* = 7,33$; $b^* = 37,69$), y al adicionar 37% quinua obtuvo valores de ($L^* = 51,49$; $a^* = 5,77$; $b^* = 28,04$). Concluyó que el incremento de brillo en snacks a base de maíz sugiere aumento en parámetro b^* . Los snacks con un 37% de quinua mostraron que el almidón se transforma debido al calor y la fuerza de cizallamiento, lo que cambió el color de los snacks extruidos a tonos entre amarillo y marrón. Resultados similares fueron hallados por Obregón (2023) para 33% de grits de maíz, 10% de harina de quinua germinada y 5% de mucílago de nopal ($L^* = 63,52$; $a^* = 4,52$; $b^* = 26,55$). Del mismo modo, Verona (2022) encontró ($L^* = 55,31$; $a^* = 7,36$; $b^* = 26,05$) para 66,67% de grits de maíz, 16,67% de harina de quinua y 16,67% de kiwicha germinada.

Estos estudios previos corroboran que la variación del color está asociada a los pigmentos naturales, la composición de las harinas y las reacciones térmicas durante el proceso de extrusión. Esto lo confirma Pavani et al. (2024), quienes mencionan que estos cambios están asociados a las reacciones no enzimáticas como la de Maillard y la caramelización entre las moléculas de proteína y almidón.

3.3.6. Textura instrumental

Tabla 46

Valores promedio de la textura de los snacks extruidos

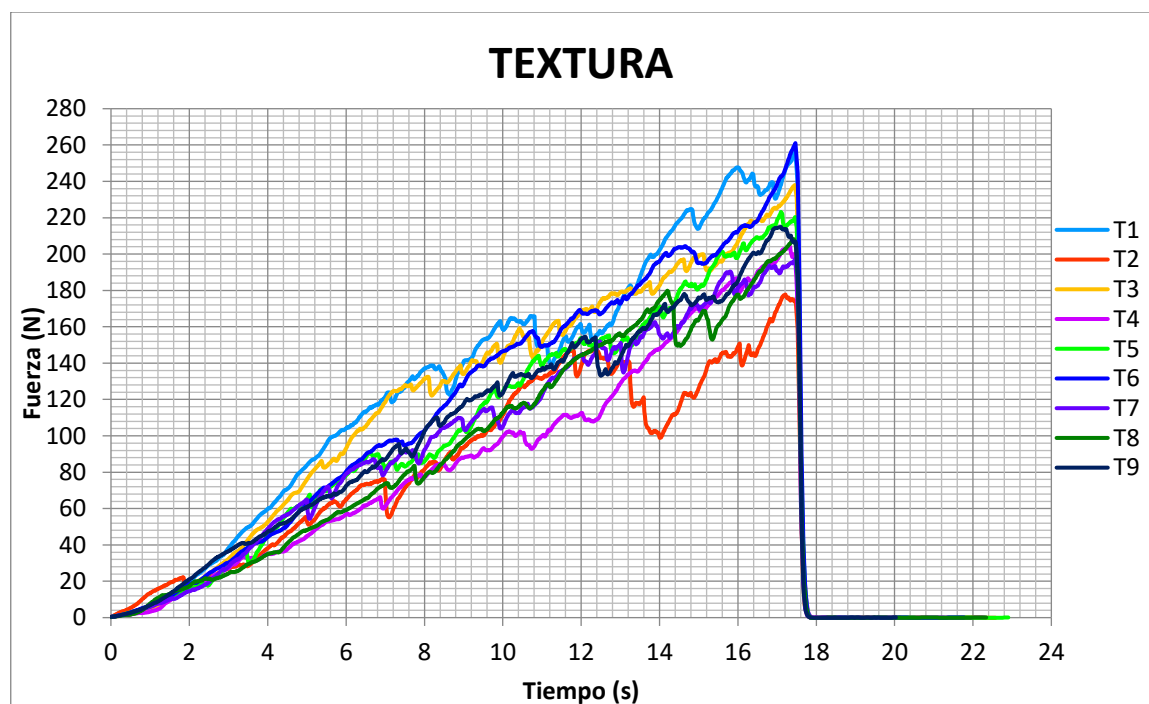
F	Hardness Cycle (N)	Load at Target (N)	1st Fracture Load Drop Off (N)	Hardness Work Cycle 1(J)
T1	260,66±24,18	256,14±23,49	157,29±125,82	4,27±0,27
T2	179,51±15,32	177,81±15,72	74,77±92,96	2,98±0,28
T3	238,08±24,18	234,60±17,82	120,07±119,21	3,87±0,29
T4	202,23±19,45	198,28±18,70	102,29±107,12	3,47±0,43
T5	216,26±28,47	209,32±32,18	150,94±105,02	3,61±0,39
T6	263,83±16,79	263,00±36,92	190,83±134,28	4,03±0,55
T7	205,87±16,28	201,23±17,94	116,30±116,30	3,44±0,26
T8	214,55±30,47	212,59±31,85	176,02±96,53	3,58±0,59
T9	212,91±22,66	210,79±23,27	111,40±116,30	3,55±0,42

Nota. *Hardness Cycle (N)* = Dureza-ciclo 1(N): es la fuerza máxima registrada durante el primer ciclo de compresión. *Load at Target (N)* = Carga al objetivo (N): fuerza necesaria para alcanzar la deformación. *1st Fracture Load Drop Off (N)* = Caída de carga en la 1ra fractura (N): indica el descenso abrupto de fuerza durante la primera fractura; indica crocancia. *Hardness Work Cycle 1(J)* = Trabajo de Dureza-Ciclo 1 (J): energía total empleada para deformar el extruido durante el primer ciclo.

La tabla 46, muestra las propiedades texturales del snack extruido, donde la dureza *Hardness Cycle* (N) más baja se observó en la formulación T₂ (179 N), que tiene un 75,36% de GM, 16,96% de HQG y 1,88% de HC. Esto indica que es un snack más frágil o que tiene menos resistencia a la compresión. La más alta se presentó en la formulación T₆ (263,83 N) con GM (72,18%), HQG (18,02%) Y HC (4%). Esto reflejó extruidos más compactos. Así mismo, estas mezclas condujeron a extruidos que requieren mayor trabajo, probablemente por mayor densificación o condiciones de proceso más intensas (presión, humedad, temperatura). En los valores de *Load at target* (N), nuevamente la formulación T₂ (177,81 N) destacó por ser la más resistente, mostrando baja capacidad de soportar carga, mientras que el T₆ (263 N) presentó mejor desempeño mecánico, lo que sugiere buena cohesión interna del extruido (menos aireado, menos expandido). En el *1st Fracture Load Drop Off* (N), el primer punto de fractura en T₂ (74,77 N) es el más bajo, lo que evidenció menos integridad estructural. En contraste, T₆ (190,83 N) soportó la mayor fuerza antes de romperse, lo cual confirma que tiene una resistencia estructural superior. Por otro lado, los valores de *Hardness Work Cycle 1* (J) indicaron que la formulación T₂ requiere menos energía (2,98 J) para deformarse por ser un material más blando y fácil de romper. Mientras que el T₁ requiere mayor energía (4,27 J), indicando dureza y resistencias más elevadas.

Figura 26

Gráfico de la textura con valores más próximos al promedio de dureza



La figura 26 mostró variaciones entre las formulaciones, en los cuales T_1 y T_6 tuvieron los valores de dureza más elevados (*Hardness*), con fuerzas que rondan los 260-263 N. Esto sugiere una estructura más compacta, lo que resulta en una expansión reducida. En cambio, el T_2 mostró una fuerza de ruptura más baja con cifras de 179 N, lo que indica que su estructura es más débil, quebradiza y extendida. La abrupta caída que se ve en todas las curvas después de alcanzar el pico máximo, cerca de los 18 segundos, señala que los snacks tienen una fractura quebradiza. Cada ruptura subsiguiente implica una resistencia.

a. Selección del modelo estadístico

El programa Design-Expert V.13 evaluó modelos cuadrático, lineal y cúbico especial. La selección del modelo se basó en criterios de ajuste, predictibilidad y precisión en las variables de los parámetros texturales.

Tabla 47

Resumen de modelos estadísticos para los parámetros de textura

Parámetro de textura	Modelo	Valor P	Valor F	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	PRESS	
<i>Hardness Cycle</i>	Lineal	0,004	16,360	0,845	0,793	0,478	3197,300	Sugerido
	Cuadrático	0,198	2,960	0,961	0,896	0,566	2660,790	
	Cúbico especial	0,499	0,670	0,971	0,883			
<i>Load at target</i>	Lineal	0,005	14,400	0,828	0,770	0,437	3491,670	Sugerido
	Cuadrático	0,224	2,630	0,953	0,873	0,457	3363,930	
	Cúbico especial	0,313	1,790	0,975	0,900			
<i>1st Fracture Load Drop</i>	Lineal	0,086	3,790	0,558	0,411	-0,432	16252,300	Sugerido
	Cuadrático	0,230	2,560	0,876	0,669	-3,900	55621,460	
	Cúbico especial	0,794	0,089	0,881	0,525			
<i>Hardness work cycle</i>	Lineal	0,002	19,790	0,868	0,825	0,585	0,464	Sugerido
	Cuadrático	0,127	4,420	0,976	0,935	0,412	0,657	
	Cúbico especial	0,821	0,066	0,977	0,906			

En la tabla 47, se observa que de todos los modelos evaluados para los parámetros texturales mediante el programa Design-Expert V.13, el modelo lineal fue sugerido como el más adecuado, ya que presenta significancia estadística ($p < 0,05$) y valores altos de F, demostrando confiabilidad entre las variables. Aunque los modelos

cúbico especial y cuadrático presentaron valores de R^2 más altos, estas no fueron significativos, evidenciando menor capacidad predictiva, reflejada en valores de R^2 previsto bajos o negativos y mayores valores de PRESS. En contraste, el modelo lineal mantiene un buen R^2 ajustado, mejor capacidad de predicción y menor riesgo de sobreajuste.

b. Análisis de varianza (ANVA) del modelo seleccionado

Según el análisis estadístico ANVA que se muestra en el anexo 4, las proporciones de grits de maíz, harina de quinua germinada y harina de cushuro afectan significativamente algunas propiedades texturales del snack extruido. Los modelos para *Hardness Cycle* ($p=0,0037$) y *Hardness Work Cycle 1* ($p=0,0023$) presentan modelos lineales altamente significativos, lo que indica un control consistente de la dureza por la composición de la mezcla. De manera similar, *Load at Target* ($p=0,0051$) también es significativamente influenciada por los componentes, con un modelo que explica bien la variabilidad observada, permitiendo predicciones confiables y optimización de la formulación. En contraste, *1st Fracture Load Drop Off* no muestra significancia estadística ($p = 0,0862$), sugiriendo que esta propiedad no depende directamente de las proporciones de los componentes. El valor de *Hardness Work Cycle 1* ($F=19,79$) mostró el valor de F más alto, lo que indica que esta respuesta fue la que presentó mayor sensibilidad frente a los cambios en la formulación. En general, las conclusiones del ANVA confirman que los cambios en la composición de la mezcla afectan de manera significativa la textura del snack extruido.

c. Estadísticos de ajuste y precisión

Tabla 48

Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para la textura instrumental

Propiedad textural	Desv.	Media	CV %	R^2	R^2 ajust.	R^2 previsto	Precisión adecuada
<i>Hardness Cycle</i>	12,58	221,5 4	5,68	0,8450	0,7933	0,4783	11,2890
<i>Load at target</i>	13,35	218,2 0	6,12	0,8275	0,7701	0,4365	10,5601
<i>1st Fracture Load Drop</i>	28,91	133,3 2	21,68	0,5583	0,4110	-0,4316	5.2774
<i>Hardness work cycle</i>	0,1565	3,64	4,3	0,8683	0,8245	0,5849	12,7543

La tabla 48, muestra los indicadores estadísticos utilizados para evaluar los modelos de las propiedades de textura del snack extruido, evidenciando distintos niveles

de ajuste y capacidad predictiva. Para *Hardness work cycle*, el modelo lineal presenta un excelente ajuste ($R^2 = 0,868$ y R^2 ajustado = $0,8245$), con diferencia entre R^2 ajustado y predicho menor a $0,2$, alta precisión adecuada ($12,75$), lo que valida su uso para optimizar la formulación de grits de maíz, harina de quinua germinada y harina de cushuro. En contraste, *Hardness cycle* y *Load at target* muestran buen ajuste general ($R^2 = 0,83 - 0,845$) y alta precisión adecuada de $10,560 - 11,289$, pero diferencias entre R^2 ajustado y predicho superiores a $0,2$ indicando capacidad predictiva limitada. Finalmente, *1st Fracture Load Drop Off* evidencio la menor predictibilidad ($R^2 = 0,5583$; diferencia ajustada–predicho = $0,8426$), aunque la Precisión Adecuada mayor a 4 indico una buena relación señal-ruido para explorar el espacio de diseño, aunque la extrapolación debe hacerse con cautela.

Las ecuaciones de regresión para los parámetros de textura instrumental son:

$$\text{Hardness Cycle} = -1,205(\text{GM}) + 14,764(\text{HQG}) + 17,164(\text{HC}) \quad (20)$$

$$\text{Load at target} = -1,231(\text{GM}) + 14,724(\text{HQG}) + 16,922(\text{HC}) \quad (21)$$

$$\text{1st Fracture Load Drop} = -2,584(\text{GM}) + 15,688(\text{HQG}) + 16,404(\text{HC}) \quad (22)$$

$$\text{Hardness work cycle} = -0,009(\text{GM}) + 0,200(\text{HQG}) + 0,260(\text{HC}) \quad (23)$$

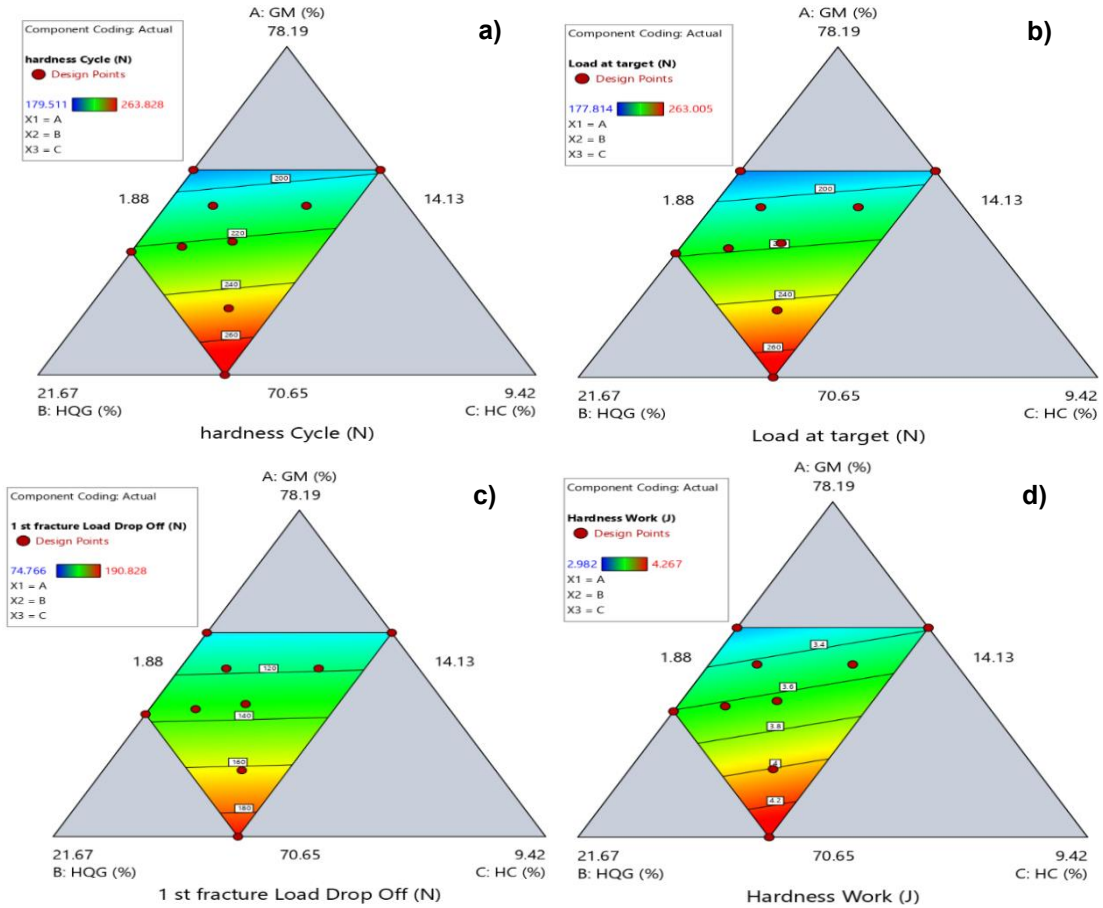
Las ecuaciones de regresión muestran que las variables respuesta (dureza, carga al objetivo, primera carga de fractura y trabajo de dureza) están influenciadas de manera diferenciada por cada uno de los ingredientes. La HC presenta los mayores coeficientes ($17,164$; $16,922$; $16,404$ y $0,260$), lo que indica que ejerce el mayor efecto en el incremento de la dureza. Le sigue la HQG ($14,764$; $14,724$; $15,688$ y $0,200$), que también contribuye al aumento de la dureza, aunque en menor magnitud. En contraste, el GM presenta coeficientes negativos ($-1,205$; $-1,231$; $-2,584$ y $-0,009$), lo que confirma su rol en la reducción de la dureza y en la generación de una textura más crocante.

Con el modelo estadístico seleccionado se obtuvieron los gráficos de contornos, los cuales sirven para analizar la influencia de los componentes de la mezcla en la variable respuesta.

En la figura 27, se observan los ejes del diagrama ternario, cuyos vértices corresponden a las formulaciones con el 100% de cada uno de los ingredientes: grits de maíz (GM), harina de quinua germinada (HQG) y harina de cushuro (HC). La textura del snack extruido se representa mediante una escala cromática, donde las tonalidades en azul denotan los valores mínimos de textura, mientras que las tonalidades rojizas indican los valores máximos.

Figura 27

Gráfico de contornos para las diferentes propiedades texturales



Nota. a) dureza (*Hardness Cycle*), b) carga al objetivo (*Load at Target*), c) primera carga de fractura (*1st Fracture Load Drop Off*) y d) trabajo de dureza (*Hardness Work Cycle*), en función de las proporciones de GM, HQG y HC.

Las líneas de contorno evidencian un comportamiento altamente consistente del sistema, donde las variables *Hardness Cycle*, *Load at target*, *1st Fracture Load Drop Off* y *Hardness Work* alcanzan sus valores máximos (263,83 N; 263,00 N; 190,83 N y 4,27 J, respectivamente) en la región inferior del diagrama ternario, próxima a los vértices con mayor proporción de harina de quinua germinada (HQG) y harina de cushuro (HC). En esta zona roja se ubican formulaciones T₁ y T₆, caracterizadas por un predominio de harina de quinua germinada (HQG), harina de cushuro (HC) y una menor proporción de grits de maíz (GM), lo que favorece la formación de una matriz estructural más compacta y densa. Este comportamiento se atribuye a la interacción sinérgica entre proteínas, polisacáridos y almidón, la cual restringe el hinchamiento granular y promueve un incremento en la rigidez del sistema. Por el contrario, los valores mínimos (179,51 N;

177,81 N; 74,77 N y 2,98 J, respectivamente) se localizan hacia el vértice superior correspondiente al grits de maíz, específicamente en la zona azul donde se encuentran las formulaciones T₂ y T₄; la mayor proporción de este componente genera estructuras más suaves, menos densas y con mayor aireación. Este efecto se relaciona con la menor capacidad de interacción estructural del GM en comparación con HQG y HC, lo que da lugar a matrices más débiles. Las formulaciones intermedias T₃, T₅, T₇, T₈ y T₉ se distribuyen en la zona central del diagrama ternario, donde predominan los colores verdes, indicando mezclas más equilibradas de los tres componentes.

En investigaciones previas sobre las características texturales de extruidos a base de quinua por Muñoz et al. (2022), informaron que las formulaciones con mezclas de 30 a 37% de quinua dan como resultado mayores valores de fuerza de aplastamiento y trabajo, son más duros y menos expandidos. Concluyeron que las propiedades de textura se ven fuertemente influenciadas por el grado de expansión. Además, lo relaciona con su alto contenido proteico. Así mismo, Lavado (2022) encontró variaciones de trabajo de corte de 14,11 a 331,66 N para snacks extruidos con sustitución de harina de pseudocereales germinados. A mayor proporción de harina de quinua germinada, mayor fue la dureza. Por el contrario, el grits de maíz disminuyó su dureza a medida que se incrementó. Resultados similares también han sido presentados por Pérez (2019), quien encontró valores entre 8,9 y 15,59 N en snacks extruidos de harinas de quinua, tarwi y fécula de camote. Los valores bajos de dureza pertenecieron a las formulaciones cuya proporción de harina de tarwi fue menor. Lo cual concuerda con nuestros resultados. Al aumentar mayor cantidad de harina de quinua germinada y cushuro, el snack fue más compacto, necesitó más trabajo de fuerza (263,83 N) y energía (4,27 J). En contraste, los snacks con mayor contenido de grits de maíz necesitaron menos trabajo de fuerza (179 N), energía (2,98 J) y fueron los más crujientes.

Según Maskan & Altan (2011), la incorporación de leguminosas en los productos extruidos produce la reducción de la expansión. Una mayor fuerza en el punto objetivo se asocia con una textura más firme y menos crujiente, esto debido a la densidad aparente y al fortalecimiento de las uniones entre los componentes del almidón y las proteínas. Maldo & Conti-Silva (2014) destacan que la textura crujiente tiene una relación directa con la expansión y la estructura celular del producto. Un producto con mayor crujencia se obtiene cuando este presenta menos densidad. Por otro lado, Szczeniak (1963) menciona que el aumento de temperatura del cilindro y la disminución del contenido de humedad dan como resultado una disminución en la dureza. Esto se debe a que las temperaturas altas provocan mayor expansión. Además, al aumentar el

contenido de humedad, tiende a aumentar la resistencia a la rotura. Según Maskan & Altan (2011), una textura deseable generalmente se caracteriza por una dureza moderada con una fractura frágil, lo cual se asocia a una mayor expansión y porosidad interna, lo que mejora su percepción de crocancia. Por otro lado, Muñoz et al. (2022) menciona que las proteínas y fibras tienden a crear una estructura elástica y menos quebradiza en comparación con los carbohidratos y grasas, por lo que los snacks presentan una textura más dura.

En general, los resultados confirman que la textura del snack se ve fuertemente influenciada por la interacción de las proporciones de harinas de quinua germinada, cushuro, grits maíz, contenido de humedad y las condiciones del proceso de extrusión, influyendo directamente en la dureza, energía de fractura y crocancia. De esta manera, los valores de dureza y trabajo mecánico se asocian a una mejor expansión, menor densidad y grado de crujencia, que son los atributos deseables para los consumidores.

3.4. EVALUACIÓN SENSORIAL

En la tabla 49, se presentan los resultados promedio obtenidos para los atributos de color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general de las 9 formulaciones.

Tabla 49

Resultados de las medias de los atributos sensoriales

FORMULACIÓN	COLOR	OLOR	SABOR	TEXTURA	ACEP. GENERAL
T ₁	4,63	4,43	4,80	5,03	4,20
T ₂	5,03	5,13	5,33	5,53	5,43
T ₃	5,03	5,13	5,23	5,13	5,17
T ₄	4,63	4,70	4,93	4,80	5,07
T ₅	5,10	4,97	5,03	5,30	5,10
T ₆	5,20	4,97	4,87	4,87	5,00
T ₇	5,17	5,07	5,43	5,50	5,37
T ₈	5,20	5,13	5,30	5,13	5,40
T ₉	5,43	5,50	5,77	5,37	5,47

A continuación, se presentan los resultados estadísticos del efecto de las mezclas de GM, HQG y HC sobre los atributos sensoriales. El programa Design-Expert V.13 evaluó diferentes modelos (lineal, cuadrático y cúbico especial) y seleccionó el modelo más adecuado para cada variable con base en criterios estadísticos de ajuste, predictibilidad y precisión.

3.4.1. Color

a. Selección del modelo estadístico

La tabla 50, muestra el resumen de los modelos estadísticos evaluados para el atributo sensorial color.

Tabla 50

Resumen de modelos estadísticos para el atributo sensorial color

Fuente	Valor P	Valor F	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	PRESS
Lineal	0,577	0,605	0,168	-0,110	-2,464	1,940
Cuadrático	0,114	4,840	0,857	0,620	-1,078	1,160
Cúbico especial	0,154	5,030	0,959	0,838		Sugerido

El modelo cúbico especial fue sugerido ya que presentó los mayores valores de R² y R² ajustado, indicando una mejor capacidad para explicar la variabilidad de los datos a diferencia de los modelos cuadrático y lineal. Sin embargo, ninguno de los modelos resultó estadísticamente significativo ($p > 0,05$). Aun así, considerando principalmente el ajuste y la variabilidad explicada, el modelo cúbico especial se considera el más adecuado para representar el comportamiento de la variable color.

b. Análisis de varianza (ANVA) del modelo seleccionado

Tabla 51

Análisis de varianza para el atributo color

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	0,5371	6	0,0895	7,89	0,1168	No significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	0,0939	2	0,0469	4,14	0,1947	
GM. HQG	0,0419	1	0,0419	3,69	0,1946	
GM. HC	0,0704	1	0,0704	6,20	0,1304	
HQG. HC	0,0700	1	0,0700	6,17	0,1310	
GM. HQG. HC	0,0571	1	0,0571	5,03	0,1541	
Residual	0,0227	2	0,0114			
Cor Total	0,5598	8				

El ANVA para el modelo cúbico especial de color indica que no es estadísticamente significativo ($p = 0,1168$), lo que sugiere que los cambios en las proporciones de GM, HQG y HC no explican claramente la variabilidad del color. La falta

de significancia de todos los términos evaluados se asocia al bajo número de grados de libertad del error residual, limitando la capacidad de detectar efectos reales.

c. Estadísticos de ajuste y precisión

Tabla 52

Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para el atributo color

Desv. Estándar	Media	CV %	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	Precisión adecuada
0,1065	5,05	2,11	0,9594	0,8378	NA ⁽¹⁾	7,8655

El modelo presenta un alto R² (0,959); sin embargo, la diferencia con el R² ajustado (0,8378) y la ausencia de R² predicho evidencian sobreajuste y limitada capacidad predictiva. A pesar de ello, el bajo coeficiente de variación (2,11 %) y la alta precisión adecuada (7,86) indican buena precisión experimental.

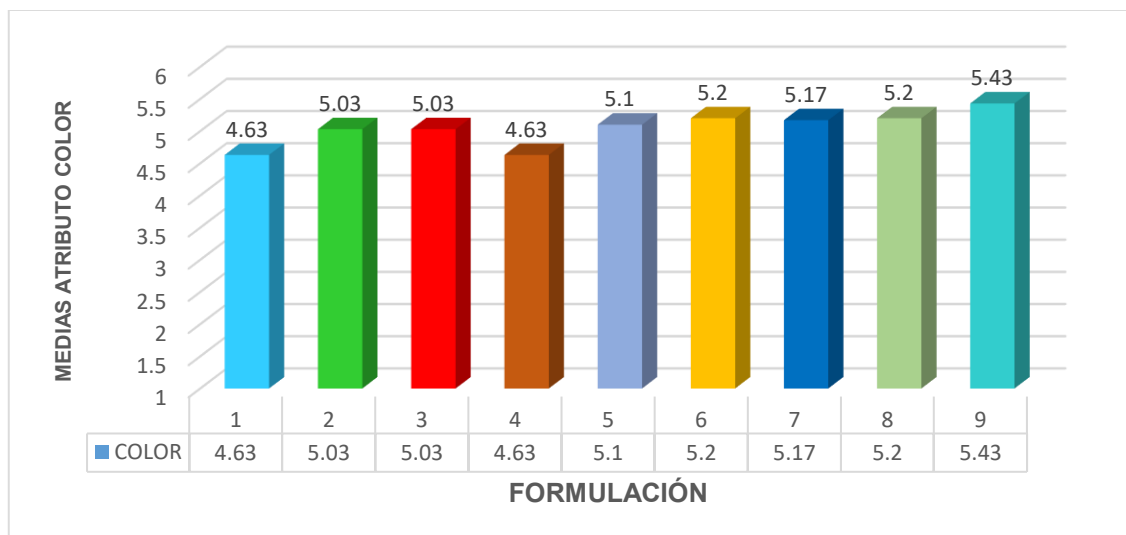
Las ecuaciones de regresión para el atributo sensorial color es:

$$\text{Color} = 10,316(\text{GM}) + 166,244(\text{HQG}) + 574,326(\text{HC}) - 2,760(\text{GM.HQG}) - 8,423(\text{GM.HC}) - 38,243(\text{HQG.HC}) + 0,528(\text{GM.HQG.HC}) \quad (24)$$

La HC presentó el mayor efecto positivo (574,326), la HQG (166,244) y los GM (10,316) también contribuyeron en menor medida. Mientras que, la interacción negativa entre HQG y HC (-38,243) sugiere un efecto de saturación que modera la intensidad de apreciación del color, mientras que la interacción triple (+0,528) contribuye a equilibrar el color y mejorar la aceptabilidad por los panelistas.

Figura 28

Medias marginales para el atributo color

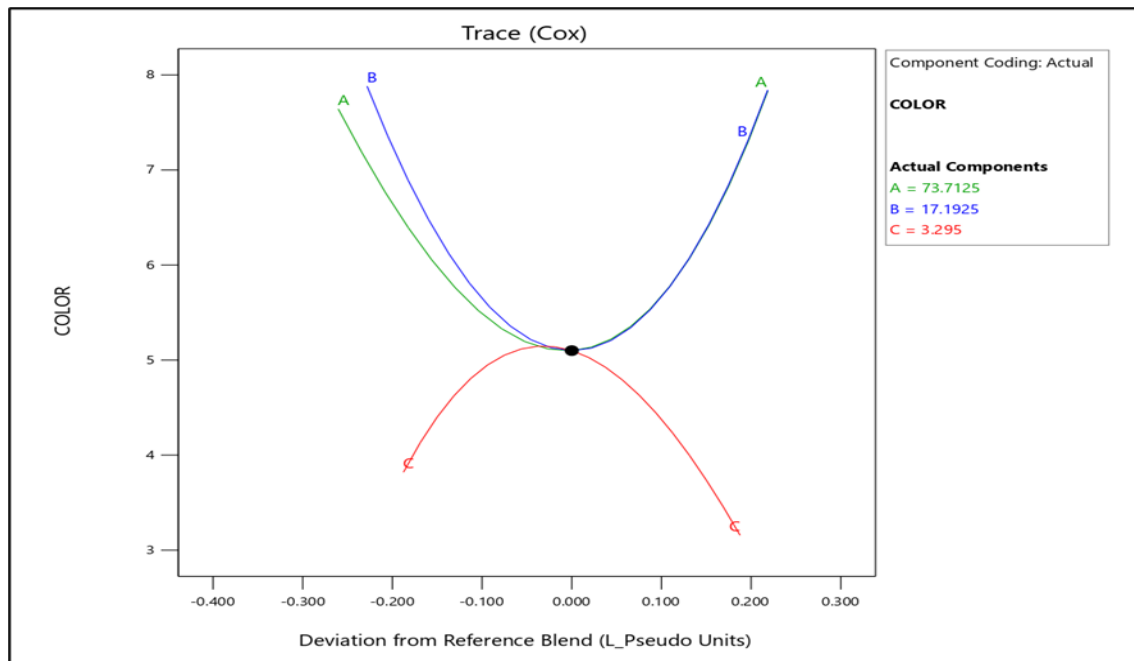


En la figura 28, se observa que la formulación que tuvo mayor aceptabilidad sensorial entre los jueces con respecto al atributo color fue la formulación T₉ con un promedio de aceptabilidad de 5,43, el cual contiene (74,53 % GM, 15,66 % HQG y 4,00 % HC). Seguidos por las formulaciones T₆ y T₈. Por otra parte, se observa que la formulación menos aceptada por los jueces fue el T₁, el cual contiene (70,65% GM, 18,84% HQG, 4,71% HC), seguido de T₄.

Para analizar detalladamente la influencia de los componentes de la mezcla en la respuesta analizada, se utilizaron los gráficos de traza o trazos de Cox, el cual según Gutiérrez y De la Vara (2008) es una forma de evaluar la importancia de los distintos componentes de una mezcla.

Figura 29

Grafico de trazas (Cox) para el atributo sensorial color



En la figura 29, se presenta el análisis de rastreo de respuesta mediante el método de Cox, en donde se evidencia el efecto de las variaciones en la proporción de grits de maíz, harina de quinua germinada y harina de cushuro sobre el valor ajustado del atributo sensorial color del snack extruido. En este contexto, el eje X representa la variación de cada componente respecto a una mezcla de referencia, donde los valores negativos indican una disminución y los valores positivos un aumento en su proporción. Por su parte, el eje Y muestra el valor del color sensorial del snack. Esta representación permite observar cómo cambia el color sensorial cuando se modifica cada ingrediente de forma individual. El punto negro muestra la mezcla base, y las curvas indican cómo cambia el color sensorial cuando se aumenta o disminuye cada componente: grits de

maíz (A), harina de quinua germinada (B) y harina de cushuro (C), manteniendo las demás constantes.

En la figura el gráfico de trazas de Cox evidenció que el sistema es altamente sensible a cambios en las proporciones. Tanto el grits de maíz (A) como la harina de quinua germinada (B) presentan un comportamiento sinérgico, reflejado en una curvatura cóncava hacia arriba, lo que indica que desviaciones respecto al punto de referencia, ya sea aumentando o disminuyendo su proporción, tienden a intensificar el color apreciado por los panelistas, como una apariencia más tostada y visualmente atractiva, lo que puede aumentar la preferencia del producto, reflejando directamente la aceptación sensorial en función de la mezcla. Comportamiento que está alineado con estudios previos por Muñoz et al., (2022) y Remache (2016) que señalan que el proceso de extrusión induce a reacciones de pardeamiento no enzimático (Maillard). Lo que explica la modificación del color natural de la harina de quinua germinada y grits de maíz afectando el color del producto

En contraste, la harina de cushuro (C) exhibe una curvatura convexa (antagónica), lo que indica que el punto de referencia central representa el equilibrio cromático óptimo para los evaluadores. Sensorialmente, superar este nivel crítico de cushuro provocaría que los panelistas pudieran asociarlo con un producto sobreprocesado. Por lo tanto, la estabilidad visual del snack depende de una dosificación moderada de la harina de cushuro. Esto es consistente con los hallazgos de Cutipa (2022), quien reportó que pequeñas incorporaciones de harina de cushuro (5%) en pan francés incrementaban la aceptabilidad del color, sugiriendo que a bajas proporciones C contribuye positivamente, mientras que mayores desviaciones pueden disminuir la percepción cromática.

Por lo tanto, se confirma que la HC tiene una participación determinante en la apariencia visual del snack extruido, siendo necesario mantener niveles moderados en la formulación, ya que cualquier desviación incremental en la proporción provoca una degradación acelerada de la intensidad cromática. Según NTP 209.226, la apariencia visual del snack es lo primero que nota el consumidor, la cual debe ser atractiva y consistente con las expectativas del producto. En este contexto, se concluye que proporciones de 74,53% GM, 15,66% HQG y proporciones intermedias de harina de cushuro entre 3,30 y 4,00% favorecen la aceptabilidad del color, mientras que niveles más altos incrementen el valor nutricional, pero afectan a la percepción sensorial.

3.4.2. Olor

a. Selección del modelo estadístico

Tabla 53

Resumen de modelos estadísticos para el atributo sensorial olor

Fuente	Valor P	Valor F	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	PRESS
Lineal	0,2108	2,04	0,4049	0,2065	-1,167	1,57
Cuadrático	0,2924	2	0,8013	0,4702	-3,3773	3,16
Cúbico especial	0,3382	1,56	0,8883	0,5534		Sugerido

El modelo cúbico especial fue sugerido debido a que presenta los mayores valores de R² y R² ajustado, indicando una mejor capacidad para explicar la variabilidad en comparación con los modelos cuadrático y lineal. Aunque ninguno de los modelos resultó estadísticamente significativo, la selección se basó principalmente en la capacidad de ajuste del modelo. Por ello, el modelo cúbico especial se considera el más adecuado para representar el comportamiento de la variable olor.

b. Análisis de varianza (ANVA) del modelo seleccionado

Tabla 54

Análisis de varianza para el atributo olor

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	Valor F	valor p
Modelo	0,6416	6	0,1069	2,65	0,2990
(1) Mezcla lineal	0,2924	2	0,1462	3,63	0,2162
AB	0,0431	1	0,0431	1,07	0,4098
AC	0,1027	1	0,1027	2,55	0,2516
BC	0,1056	1	0,1056	2,62	0,2470
ABC	0,0628	1	0,0628	1,56	0,3382
Residual	0,0806	2	0,0403		
Cor Total	0,7222	8			

El ANVA para la variable olor muestra que el modelo no es significativo (p = 0,2990), indicando que las proporciones de grits de maíz, harina de quinua germinada y harina de cushuro, así como sus interacciones, no afectan de manera determinante

esta respuesta. La variabilidad observada se atribuye principalmente al azar o al error experimental, por lo que el modelo carece de capacidad predictiva para el olor.

c. Estadísticos de ajuste y precisión

Tabla 55

Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para el atributo olor

Desv. estándar	Media	CV %	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	Precisión adecuada
0,2008	5	4,01	0,8883	0,5534	NA ⁽¹⁾	5,3956

El modelo presenta un R² de 0,8883, lo que indica una aceptable capacidad explicativa de los datos; sin embargo, el R² ajustado (0,5534) es considerablemente menor, lo que indica que su capacidad explicativa disminuye al ajustar el modelo. Por otro lado, la ausencia de R² predicho no permite evaluar la capacidad predictiva. A pesar de ello, el coeficiente de variación (4,01%) y la precisión adecuada (5,3956 > 4) evidencian baja dispersión y una relación señal/ruido aceptable, por lo que debe interpretarse con cautela y no se recomienda su uso para predicción u optimización sin validación adicional.

Las ecuaciones de regresión para el atributo sensorial olor es:

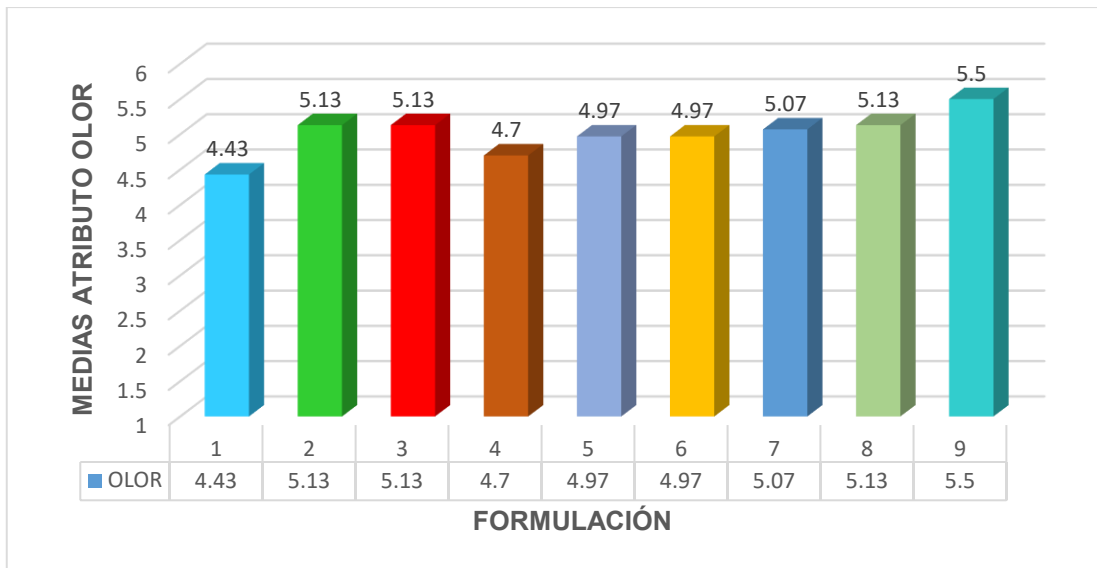
$$\text{Olor} = 10,600(\text{GM}) + 170,711(\text{HQG}) + 617,055(\text{HC}) - 2,833(\text{GM.HQG}) - 8,989(\text{GM. HC}) - 40,285(\text{HQG.HC}) + 0,553(\text{GM.HQG.HC}) \quad (25)$$

La percepción aromática del snack muestra que la HC (617,06) presenta el mayor efecto individual, seguida de la HQG (170,711) y en menor medida el GM (10,600), lo que indica que la variación de HC tiene la mayor influencia dentro del modelo. Las interacciones binarias GM.HQG (-2,833), GM. HC (-8,989) y HQG.HC (-40,285) presentan coeficientes negativos, lo que sugiere que su combinación tiende a disminuir la percepción del olor. Por otro lado, la interacción ternaria GM.HQG.HC (0,553) es positiva, indicando que el atributo olor está influenciado principalmente por los efectos individuales.

En la figura 30, se observa que la formulación T₉ con GM (74,53%), HQG (15,66%) y HC (4,00%) obtuvo una percepción positiva y homogeneidad en el atributo sensorial olor. Ya que a estos porcentajes se logra un equilibrio entre estos componentes, en contraste, la formulación con menos aceptabilidad por los panelistas fue T₁ con GM (70,65%), HQG (18,84%) y HC (4,71%).

Figura 30

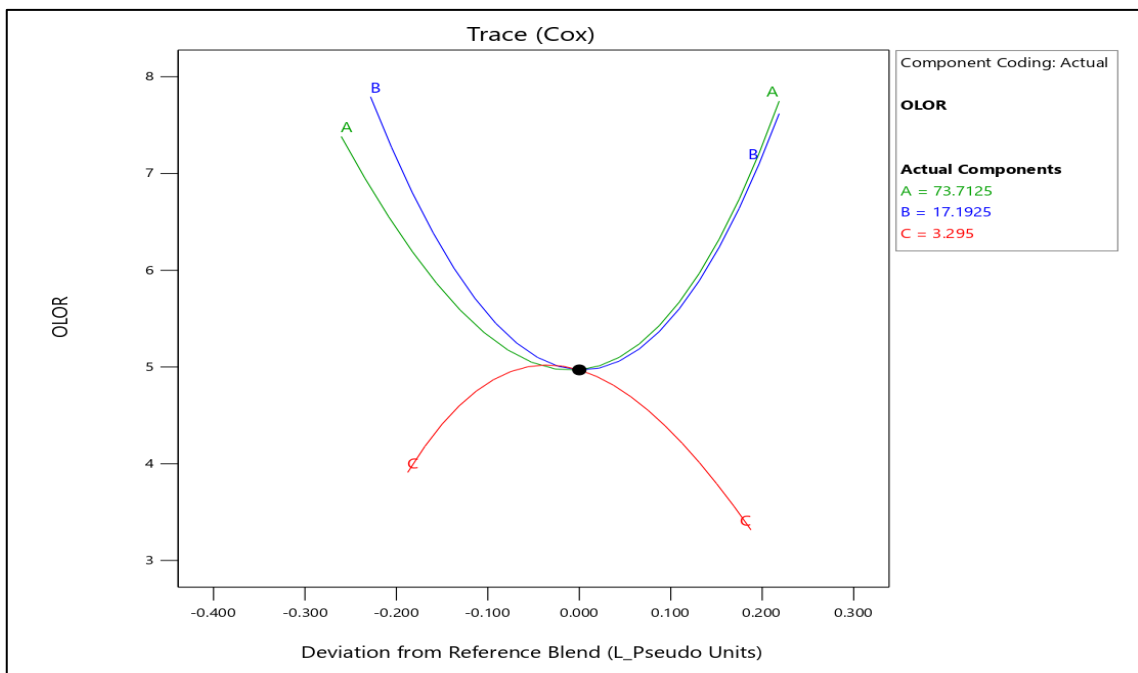
Medias marginales para el atributo sensorial olor



Para analizar detalladamente la influencia de los componentes de la mezcla en la respuesta analizada, se utilizaron los gráficos de traza o trazos de Cox

Figura 31

Gráfico de trazas (Cox) para el atributo sensorial olor



En la figura 31, se presenta el análisis de rastreo de respuesta mediante el método de Cox, en donde se evidencia el efecto de las variaciones en la proporción de

grits de maíz, harina de quinua germinada y harina de cushuro sobre el valor ajustado del atributo sensorial olor del snack extruido.

El gráfico de trazas de Cox evidenció la sensibilidad de la percepción del olor frente a cambios en las proporciones de los componentes de la mezcla respecto a un punto de referencia. Tanto el grits de maíz (A) como la harina de quinua germinada (B) mostraron un comportamiento positivo, lo que indica que cualquier desviación en su proporción, ya sea un aumento o una disminución, incrementa significativamente la intensidad del olor percibido por los panelistas. En particular, la harina de quinua germinada se distingue por su mayor tasa de cambio, sugiriendo que pequeñas variaciones en su concentración generan diferencias fácilmente detectables por los panelistas. Este efecto puede asociarse a la liberación de compuestos aromáticos durante el procesamiento y la interacción entre los componentes, que intensifica la señal olfativa. En contraste, la harina de cushuro (C) ejerció un efecto antagónico sobre la percepción del olor, evidenciado por una curvatura convexa que indica que variaciones en su proporción tienden a reducir la intensidad del olor percibido. Esto sugiere que incrementos excesivos de C atenúan los aromas más atractivos aportados por el grits de maíz y la harina de quinua germinada, modificando la percepción global del snack. La convergencia observada en el punto central del gráfico refleja que la estabilidad y el balance del olor dependen del equilibrio entre los tres componentes, con una influencia predominante del grits de maíz y la harina de quinua germinada sobre la magnitud de la respuesta olfativa.

Según Ding et al. (2005), los atributos sensoriales de los extruidos dependen en gran medida de las variables relacionadas con el equipo, la composición química de la materia prima, el tiempo de residencia y el contenido de humedad. Si este es demasiado alto durante el proceso de extrusión, el calor y la fricción disminuyen, reduciendo la intensidad del aroma. Por otro lado, una humedad demasiado baja puede provocar olores fuertes o a quemado debido al exceso de pardeamiento. Según Chasquibol et al. (2024), indica que el cushuro no presenta olor, por lo que adopta las características de los alimentos con los cuales se mezcla.

Lavado et al. (2022) mostraron que los extruidos de quinua germinada presentan un mayor dulzor por su contenido de azúcares reductores durante el proceso de germinación, los cuales también intervienen en la formación de productos de la reacción de Maillard que confieren al extruido un olor característico. Nuestros resultados coinciden con estos estudios previos, demostrando que los productos a base de grits de

maíz retienen mejor los compuestos volátiles, lo que favorece la percepción aromática. Sin embargo, la harina de quinua germinada, al contener mayor contenido de azúcares reductores, podría reducir la degradación térmica de sus compuestos volátiles, por lo que podría ser responsable de generar notas aromáticas menos atractivas a tostado o quemado. En comparación con la harina de cushuro, al ser de origen alga, no contiene azúcares reductores. Esto provoca que durante la extrusión la formación de compuestos volátiles derivados del Maillard sea más limitada, lo que se traduce en un olor menos tostado y más neutro o marino, dependiendo de la proporción empleada.

Según la NTP 1984, el olor es un atributo determinante en la evaluación sensorial, ya que contribuye a la experiencia sensorial del consumidor, por lo que debe ser agradable y coherente con el tipo de snack. En este sentido, los resultados de este estudio confirman que las condiciones moderadas de humedad y temperatura, junto con las proporciones equilibradas de harina de quinua germinada 15,66% y harina de cushuro 4,00%, favorecen la formación de compuestos aromáticos agradables y una mejor percepción sensorial.

3.4.3. Sabor

a. Selección del modelo estadístico

Tabla 56

Resumen de modelos estadísticos para el atributo sensorial sabor

Fuente	Valor P	Valor F	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	PRESS	
Lineal	0,235	1,86	0,383	0,178	-0,889	1,46	Sugerido
Cuadrático	0,856	0,25	0,507	-0,313	-14,582	12,07	
Cúbico especial	0,463	0,81	0,650	-0,401			

El modelo lineal fue sugerido como el más adecuado para la variable sabor, ya que, aunque ninguno de los modelos resultó estadísticamente significativo ($p > 0.05$), el modelo lineal presentó el mayor valor F, el único R² ajustado positivo, el R² previsto menos negativo y el menor valor de PRESS, lo que indica mejor capacidad explicativa y predictiva en comparación con los modelos cuadrático y cúbico especial, los cuales presentaron R² ajustados negativos, evidenciando sobreajuste; por ello, considerando todos los criterios estadísticos en conjunto, el modelo lineal se seleccionó como el más apropiado.

b. Análisis de varianza (ANVA) del modelo seleccionado

Tabla 57

Análisis de varianza para el atributo sabor

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	0,2970	2	0,1485	1,86	0,2345	No significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	0,2970	2	0,1485	1,86	0,2345	
Residual	0,4779	6	0,0797			
Cor Total	0,7750	8				

El ANVA para la variable sabor indica que el modelo lineal no es estadísticamente significativo ($p = 0,2345$; $F = 1,86$), lo que evidencia que las proporciones de grits de maíz, harina de quinua germinada y harina de cushuro no tienen un efecto claro sobre esta respuesta. En consecuencia, el modelo no resulta adecuado para describir, predecir ni optimizar esta propiedad sensorial.

c. Estadísticos de ajuste y precisión

Tabla 58

Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para el atributo sabor

Desv. estándar	Media	CV %	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	Precisión adecuada
0,2822	5,19	5,44	0,3833	0,1777	-0,8892	4,0614

El modelo presenta una baja capacidad explicativa, con un $R^2 = 0,3833$ y un R^2 ajustado = 0,1777, indicando que menos del 18 % de la variabilidad es explicada por la formulación. El R^2 predicho negativo (-0,8892) lo que confirma que el modelo no tiene capacidad predictiva. Aunque la Precisión Adecuada (4,0614) supera ligeramente el valor mínimo requerido, la inconsistencia de los indicadores demuestra que el modelo no es adecuado para fines de predicción ni optimización.

Las ecuaciones de regresión para el atributo sensorial sabor es:

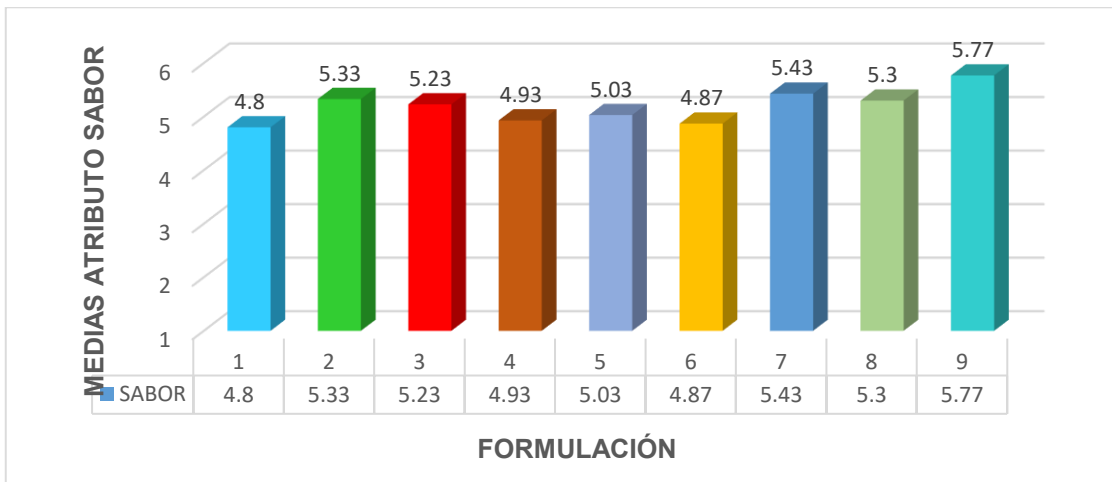
$$\text{Sabor} = 0,078(\text{GM}) - 0,016(\text{HQG}) - 0,093(\text{HC}) \quad (26)$$

El atributo sensorial sabor depende principalmente de la proporción de la base de cereales. Los GM presentaron el único efecto positivo (0,078), evidenciando su contribución favorable al sabor. En contraste, la HC (-0,093) y la HQG (-0,0163)

mostraron coeficientes negativos, indicando que su incorporación reduce la aceptabilidad. El efecto negativo del cushuro fue más pronunciado, lo que sugiere que su perfil de sabor constituye el principal factor limitante.

Figura 32

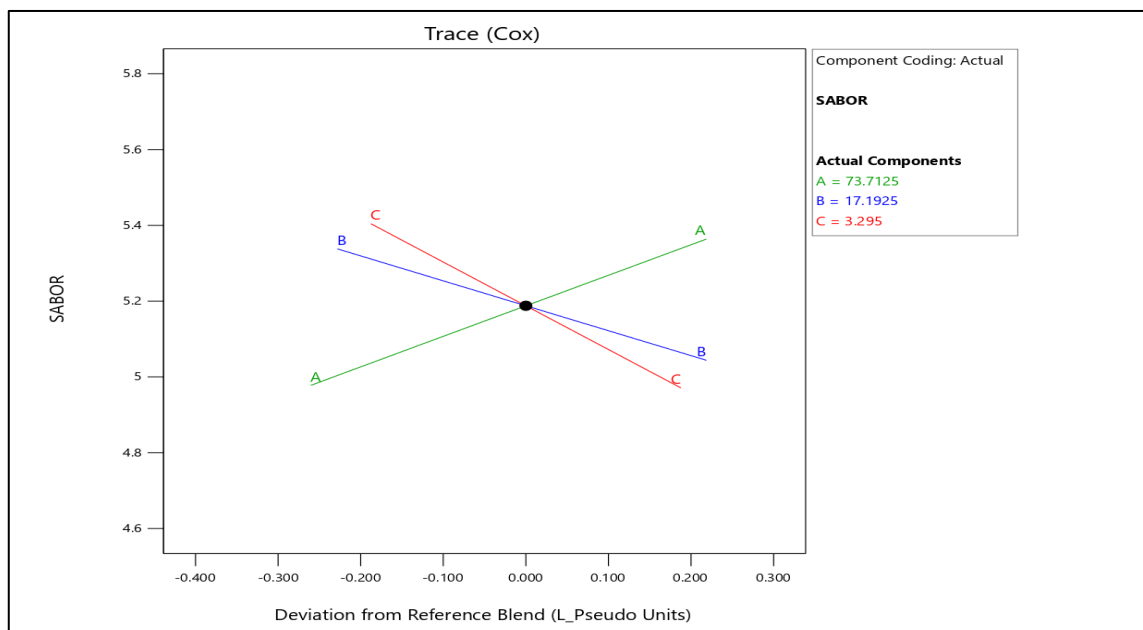
Medias marginales para el atributo sensorial sabor



En la figura 32, se pueden observar las medias marginales para el atributo sensorial sabor en una escala hedónica de 7 puntos que varían entre 4,80 a 5,77, siendo la formulación T₉ la que obtuvo mayor puntaje (5,77), seguida de T₇ (5,50) y T₂ (5,33); por el contrario, T₁ (4,80), T₆ (4,87) y T₄ (4,93) son las que obtuvieron menor puntuación.

Figura 33

Gráfico de trazas (Cox) para el atributo sabor



En la figura 33, se presenta el análisis de rastreo de respuesta mediante el método de Cox, en donde se evidencia el efecto de las variaciones en la proporción de GM, HQG y HC sobre el valor ajustado del atributo sensorial sabor del snack extruido.

El gráfico de trazas de Cox evidencia que la percepción del sabor es altamente sensible a las variaciones en las proporciones de los componentes de la mezcla respecto a un punto de referencia, según lo evaluado por panelistas. En este contexto, el grits de maíz (A) mostro un efecto lineal positivo, de manera que un incremento en su proporción se traduce en una mayor intensidad del sabor percibida, asociada a atributos agradables como sabor a cereal tostado, lo que favorece la aceptación del producto. En contraste, la harina de quinua germinada (B) y la harina de cushuro (C) presentaron efectos negativos, evidenciados por pendientes descendentes, indicando que superar ciertos niveles de referencia reduce la percepción del sabor. Particularmente, la harina de cushuro (C) ejerció la mayor influencia adversa debido a su pendiente más pronunciada, sugiriendo que concentraciones elevadas pueden generar sabores menos atractivos para los panelistas.

Mendoza (2024) encontró mayor aceptación para snacks constituidos por 10 % de quinua, 2 % de chía y 88 % de maíz amarillo. Por otro lado, Verona (2022) llevó a cabo una evaluación de intención de compra de su snack extruido con 24 % de grits de maíz, 46 % de quinua germinada y 30 % de kiwicha germinada, donde solo el 10 % indica que lo compraría, un 43 % posiblemente lo compraría y un 43 % sugiere la adición de saborizante para contrarrestar el sabor a quinua. De acuerdo con investigaciones de Remache (2016), los snacks extruidos no deben tener más del 25 % de quinua, porque un porcentaje mayor puede alterar la percepción sensorial debido a las notas amargas o quemadas que pueden resultar de la degradación térmica de los compuestos volátiles, como señalan Ding et al. (2005). Por otro lado, Repo-Carrasco (2011) evaluó en una prueba de nivel de agrado un snack extruido a base de quinua y maíz, siendo mejor valorados por los panelistas los espolvoreados en comparación con los no espolvoreados.

Estos resultados confirman la necesidad de una formulación adecuada para elaborar productos alimenticios con perfiles de sabor agradables y aceptables. La mezcla 74,53 % GM, 15,66 % HQG y 4,00 % HC, respectivamente, dio como resultado mejor para el atributo sabor. Para mejorar la formulación, se recomienda priorizar el grits de maíz. También es importante mantener proporciones intermedias de harina de quinua germinada y el cushuro, ya que alteran las características sensoriales, tal como

indican Cutipa (2022), Verona y Lavado (2022). También se proponen estrategias como recubrir con un saborizante, ya que es más apetecible para el consumidor.

3.4.4. Textura

a. Selección del modelo estadístico

La tabla 59, muestra el resumen de los modelos estadísticos evaluados para el atributo sensorial textura.

Tabla 59

Resumen de modelos estadísticos para el atributo sensorial textura

Fuente	Valor P	Valor F	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	PRESS	
Lineal	0,188	2,24	0,4276	0,237	-1,161	1,17	
Cuadrático	0,286	2,05	0,812	0,499	-7,377	4,55	Sugerido
Cúbico especial	0,869	0,035	0,815	0,262			

El modelo cuadrático fue sugerido como el más adecuado para la variable textura. Debido a que presentó mayores valores de R² y R² ajustado que el lineal, indicando un mejor ajuste a los datos y resulta menos complejo que el cúbico especial, evitando sobreajuste. Si bien ninguno de los modelos mostró significancia estadística ($p > 0,05$), el modelo cuadrático se consideró el más adecuado por su balance entre ajuste y capacidad predictiva.

b. Análisis de varianza (ANVA) del modelo seleccionado

Tabla 60

Análisis de varianza para el atributo textura

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	0,4412	5	0,0882	2,59	0,2313	No significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	0,2323	2	0,1161	3,42	0,1686	
GM. HQG	0,0001	1	0,0001	0,0037	0,9555	
GM. HC	8,982E-07	1	8,982E-07	0,0000	0,9962	
HQG. HC	0,0071	1	0,0071	0,2082	0,6792	
Residual	0,1020	3	0,0340			
Cor Total	0,5432	8				

El ANVA para la variable Textura muestra que el modelo cuadrático no es estadísticamente significativo ($p = 0,2313$; $F = 2,59$), lo que indica que las proporciones de grits de maíz, harina de quinua germinada y harina de cushuro no establecen una relación clara con la respuesta. A pesar de considerar interacciones entre los componentes (GM. HQG, GM. HC, HQG. HC), sus altos valores p evidencian que la variabilidad explicada por el modelo es similar al error experimental. En consecuencia, el modelo resulta sobredimensionado y no es adecuado para describir ni optimizar la textura en el sistema estudiado.

Tabla 61

Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para el atributo textura

Desv. Estándar	Media	CV %	R²	R² ajustado	R² previsto	Precisión adecuada
0,1844	5,18	3,56	0,8122	0,4992	-7,3767	4,9484

El modelo muestra una discrepancia importante entre su capacidad explicativa y su validez predictiva. Aunque el R^2 (0,8122) sugiere un buen ajuste inicial, el R^2 ajustado (0,4992) evidencia sobreajuste. Esta limitación se confirma con un R^2 predicho negativo (-7,3767), lo que invalida su uso para predicciones u optimización. A pesar de una precisión adecuada aceptable (4,9484), la inconsistencia entre los indicadores impide considerar el modelo confiable para aplicación práctica en el diseño experimental.

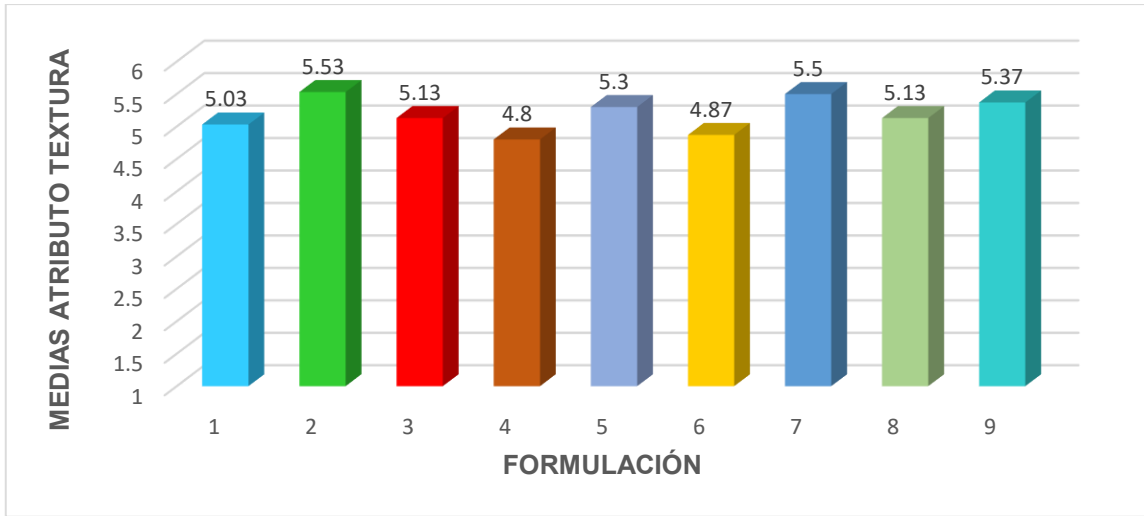
Las ecuaciones de regresión para el atributo sensorial textura es:

$$\text{Textura} = 0,117(\text{GM}) - 1,007(\text{HQG}) - 1,973(\text{HC}) + 0,011(\text{GM.HQG}) + 0,001(\text{GM. HC}) + 0,115(\text{HQG.HC}) \quad (27)$$

La aceptabilidad textural del snack por parte de los panelistas depende de las interacciones entre sus componentes. Aunque la HC (-1,973) y la HQG (-1,007) presentan efectos individuales negativos, asociados a una mayor dureza y menor agrado, los términos de interacción fueron positivos, destacando la relación HQG–HC (0,115). Esto sugiere que la interacción entre los componentes permite compensar dichas características, mejorando la percepción sensorial. En este contexto, el equilibrio entre la base de GM (0,117) y las harinas funcionales favorece una textura más aceptada por los panelistas.

Figura 34

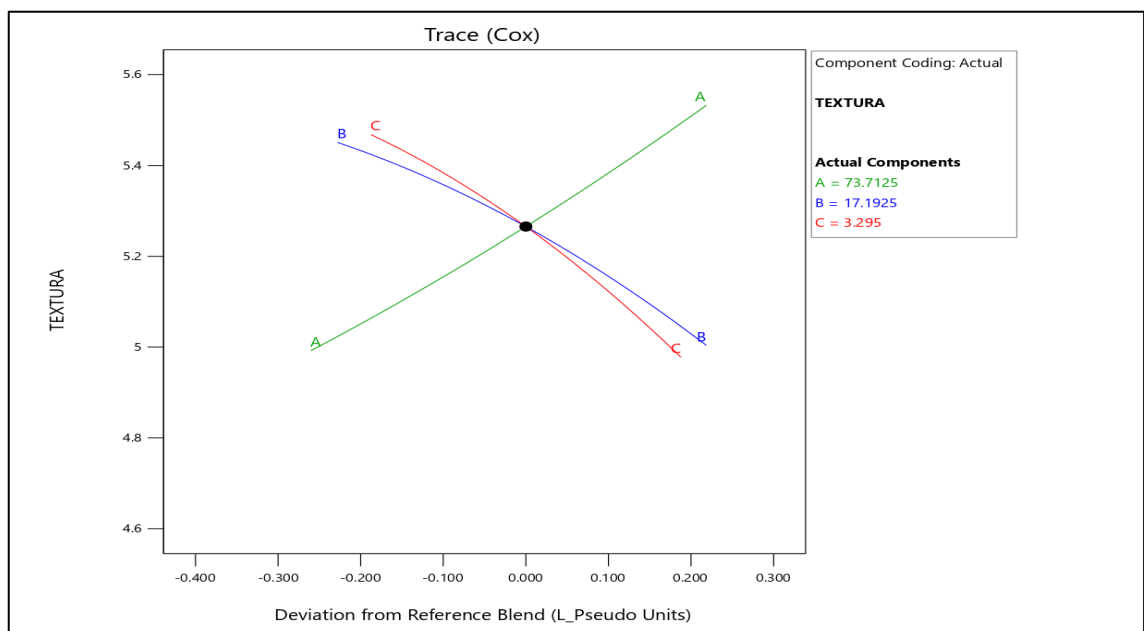
Medias marginales para el atributo sensorial textura



En la figura 34, se observan las medias marginales, las cuales oscilaron entre 4,80 y 5,53. La formulación T₂ (5,53) fue la mejor, con GM (75,36%), HQG (16,96%) y HC (1,88%). seguida de T₇ (5,50) y T₉ (5,37). Esto demuestra que los panelistas encontraron que la textura de los snacks era más crujiente. En cambio, el T₁ (4,80) con GM (70,65%), HQG (18,84%) y HC (4,71%) obtuvo la calificación más baja. Esto sugiere que tienen una textura más compacta, lo que podría estar asociada a una mayor proporción de HQG y HC.

Figura 35

Gráfico de trazas (Cox) para el atributo sensorial textura



En la figura 35, el gráfico de trazas de Cox evidenció el impacto de los componentes de la mezcla sobre la textura, mostrando una respuesta lineal ante las variaciones en la formulación. En este contexto, el grits de maíz (A) ejerció un efecto positivo, ya que su incremento puede provocar sensaciones de suavidad excesiva, generando una textura más estructurada y agradable al masticar, lo que favoreció la aceptación sensorial. En contraste, la harina de quinua germinada (B) y la harina de cushuro (C) presentaron efectos negativos, evidenciados por pendientes descendentes que reflejaron una disminución en la calidad textural según la percepción de los panelistas; en particular, la harina de cushuro destacó por su mayor pendiente, indicando que su influencia adversa es la más significativa y que concentraciones elevadas, se traduce en una mayor firmeza y consistencia percibida. Estos hallazgos sugieren que la estabilidad física y sensorial del producto depende críticamente del equilibrio entre los tres componentes, y que un control preciso de la proporción de harina de cushuro es fundamental para mantener una textura firme, consistente y agradable.

Según Ding et al. (2005), en el atributo textura, los consumidores evalúan el carácter de crujiente y la dureza. También puede verse afectada por el grado de expansión y humedad de los snacks extruidos. Las calificaciones altas en textura crujiente se observaron con las formulaciones con alto contenido de grits de maíz, las cuales presentaron una estructura más expandida y aireada, dando como resultado una textura suave y crocante en boca de los panelistas. Por otro lado, las formulaciones altas con harina de cushuro (HC) y harina de quinua germinada (HQG) disminuyeron la crocancia; esto indica que estos componentes alteran la estructura del producto y restringen su expansión. Del mismo modo, Remache (2016), en la elaboración de snacks extruidos de quinua, indica que cuando la harina de quinua supera el 25%, se reduce el grado de expansión. Cutipa (2022) en su estudio sobre la evaluación sensorial de pan francés con harina de cushuro propone sustituir solo el 5%, ya que mayor porcentaje influye en la dureza y crocancia.

Esta investigación demuestra que la textura de los snacks extruidos depende de la interacción de sus ingredientes, ya que los grits de maíz son los que favorecen la estructura expandida, la harina de quinua germinada y la harina de cushuro tienden a compactar el producto; por lo que se recomienda usar alrededor de 16,96% de HQG y 1,88 a 4,00% de HC para lograr una textura balanceada, crujiente y sensorialmente aceptable.

3.4.5. Aceptabilidad general

a. Selección del modelo estadístico

La tabla 62, muestra el resumen de los modelos estadísticos evaluados para el atributo sensorial aceptabilidad general.

Tabla 62

Resumen de modelos estadísticos para el atributo aceptabilidad general

Fuente	Valor P	Valor F	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	PRESS	
Lineal	0,013	9,81	0,766	0,688	0,118	1,080	Sugerido
Cuadrático	0,256	2,30	0,929	0,811	0,495	0,617	
Cúbico especial	0,0934	9,18	0,987	0,949			

El modelo lineal fue sugerido por que presento significancia estadística ($p < 0,05$), a diferencia de los modelos cúbico especial y cuadrático. Aunque los modelos más complejos muestran valores mayores de R² y R² ajustado, estos pueden deberse a la complejidad del modelo y posible sobreajuste. Además, al considerar la capacidad predictiva mediante R² previsto y PRESS, el modelo lineal presenta un comportamiento más estable.

b. Análisis de varianza (ANVA) del modelo seleccionado

Tabla 63

Análisis de varianza para el atributo aceptabilidad general

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	0,9372	2	0,4686	9,81	0,0128	Significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	0,9372	2	0,4686	9,81	0,0128	
Residual	0,2866	6	0,0478			
Cor Total	1,22	8				

El ANVA para aceptación general confirma que el modelo lineal es significativo ($p = 0,0128$; $F = 9,81$), indicando que las proporciones de grits de maíz, harina de quinua germinada y harina de cushuro influyen de manera consistente en la respuesta sensorial. Esto valida el modelo como una herramienta confiable para optimizar la formulación y predecir cambios en la aceptabilidad del producto.

c. Estadísticos de ajuste y precisión

Tabla 64

Estadísticos de ajuste y capacidad predictiva para la aceptabilidad

Desv. estándar	Media	CV %	R ²	R ² ajustado	R ² previsto	Precisión adecuada
0,2186	5,13	4,26	0,7658	0,6878	0,1182	9,2934

El modelo estadístico mostró un ajuste global moderado ($R^2 = 0,7658$), explicando el 76,58% de la variabilidad en la respuesta de la mezcla de grits de maíz, harina de quinua germinada y harina de cushuro. Sin embargo, la diferencia mayor a 0,2 entre el R^2 ajustado y el R^2 previsto (0,1182) evidencia una baja capacidad predictiva, limitando su uso a la interpretación dentro del espacio experimental. El coeficiente de variación (4,26%) indica alta precisión de los datos, mientras que la precisión adecuada (9,2934), al ser mayor a 4, confirma una señal suficiente del modelo para su aplicación en la optimización de la formulación.

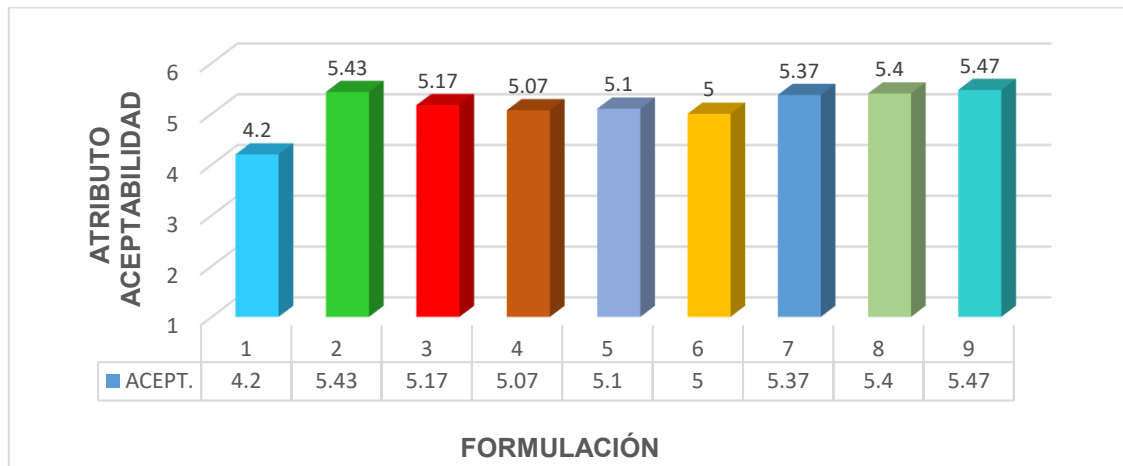
La ecuación de regresión para el atributo sensorial de aceptabilidad general es:

$$\text{Aceptabilidad General} = 0,097(\text{GM}) - 0,079(\text{HQG}) - 0,200(\text{HC}) \quad (28)$$

Los GM presentan el único efecto positivo (0,097), lo que indica que favorecen la preferencia sensorial. En contraste, la incorporación de harinas funcionales reduce la aceptabilidad, siendo la HC (-0,200) el factor que más limita la preferencia. Por su parte, la HQG (-0,079), aunque también reduce la aceptabilidad, es mejor tolerada por los panelistas.

Figura 36

Medias marginales para el atributo sensorial aceptabilidad general

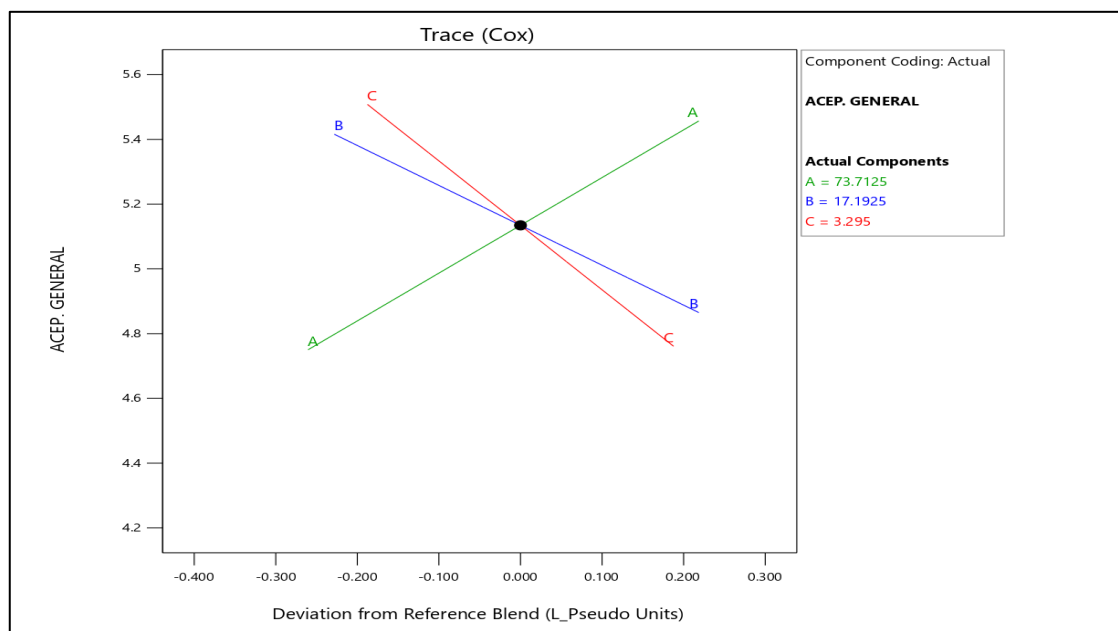


En la figura 36, las medias marginales de todas las formulaciones presentan una aceptabilidad entre 4,20 y 5,47 en una escala hedónica de siete puntos. Donde T₉ (5,47), T₂ (5,43) y T₈ (5,40) obtuvieron mayor aceptabilidad general. Por el contrario, el T₁ (4,20) y T₄ (5,07) mostraron valores más bajos, aunque la diferencia no es notoria, lo que sugiere que las formulaciones tienen buena aceptación por los panelistas, pero el T₉ es el más preferido debido al equilibrio de sus componentes.

Para analizar detalladamente la influencia de los componentes de la mezcla en la respuesta analizada, se utilizaron los gráficos de traza o trazos de Cox, el cual según Gutiérrez y De la Vara (2008) es una forma de evaluar la importancia de los distintos componentes de una mezcla.

Figura 37

Gráfico de trazas (Cox) para el atributo sensorial aceptabilidad



En la figura 37, el gráfico de trazas de Cox para la variable aceptación general evidencia la influencia diferencial de los componentes sobre la preferencia global de los panelistas en relación con la mezcla de referencia. El grits de maíz (A) exhibió un efecto lineal positivo, donde su aumento favoreció directamente la aceptabilidad general del snack, debido a su aporte de sabor agradable, mejor textura crujiente y color más atractivo. En contraste, la harina de quinua germinada (B) y la harina de cushuro (C) presentaron efectos negativos, con pendientes descendentes que reflejan una reducción en la aceptación al incrementar sus proporciones, siendo la harina de cushuro el componente con mayor impacto adverso debido a su pendiente más pronunciada, lo cual puede atribuirse a que estos ingredientes aportan sabores y aromas más intensos

o poco familiares, además de afectar la textura del snack, haciéndolo menos crujiente o más denso. Esto resalta la importancia de controlar cuidadosamente la concentración de harina de cushuro para maximizar la aceptación sensorial del snack extruido final.

En investigaciones previas como Cutipa (2022), señalan que, si bien el cushuro podría enriquecer el producto, sin embargo, al exceder el 5%, reduce su atractivo, obteniendo resultados poco favorables. Autores como Repo-Carrasco et al. (2005) proponen emplear métodos para camuflar estos rasgos sensoriales. Por otro lado, Remache (2016) propone que la quinua, a pesar de sus propiedades nutricionales, su inclusión superior al 25% disminuye su aceptación, principalmente por su regusto terroso.

Verona (2022), Lavado (2022) y Muñoz et al. (2022) han confirmado estos hallazgos. En contraste, el grits de maíz es un componente clave, gracias a su sabor y a mejorar los atributos de textura. Estudios previos respaldan que las formulaciones menores al 80% de grits de maíz optimizan la aceptación sensorial, garantizando una experiencia más agradable. Sin embargo, Pérez (2019) menciona que el almidón por encima del 65% puede crear algunos desafíos, ya que puede producir extruidos muy pegajosos. Estos hallazgos refuerzan la importancia de optimizar la formulación de snacks extruidos, asegurando que el equilibrio entre los ingredientes y atributos sensoriales mejore la percepción de los consumidores. Nuestros resultados demuestran un buen equilibrio entre las mezclas, destacándose la formulación T₉ con 74,53% de GM, 15,66% de HQG y 4,00% de HC, que alcanzó 5,47 puntos.

En relación con el análisis estadístico, no se encontraron diferencias significativas entre las formulaciones para los atributos sensoriales específicos como color, olor, sabor y textura. Sin embargo, la aceptabilidad general sí presentó diferencias significativas, lo que indica que, aunque los panelistas no identificaron variaciones claras en atributos individuales, sí percibieron diferencias a nivel global del producto. En los snacks extruidos, la percepción sensorial está influenciada por el grado de expansión, debido a su efecto directo sobre la textura y la crocancia, ya que estos atributos afectan directamente la experiencia de consumo y la aceptación del producto. Aunque el color, olor y sabor también son importantes, en muchos casos los consumidores valoran especialmente la textura y crocancia porque definen la sensación al masticar, que es clave en productos como los snacks, lo cual influyó en la evaluación global del producto. Por otro lado, la aceptabilidad general permitió discriminar entre formulaciones,

facilitando la selección de la formulación óptima no solo en función de criterios nutricionales y tecnológicos, sino también de la preferencia del consumidor.

Finalmente, se recomienda complementar estos resultados con evaluaciones mediante paneles entrenados y bajo condiciones controladas, a fin de detectar diferencias más sutiles entre atributos sensoriales.

3.5. OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN

Una vez validados los modelos estadísticos para cada variable de respuesta asegurando su significancia mediante el análisis de varianza (ANVA), un adecuado ajuste de los coeficientes de determinación (R^2 ajustado y predicho) y una precisión adecuada, se procedió a la etapa de optimización multirrespuesta. Para ello, se empleó el programa Design Expert V.13 siguiendo la metodología de diseño de mezclas descrita por Montgomery (2004) y Gutiérrez y De la Vara (2008). El propósito de este análisis fue identificar las condiciones experimentales óptimas que satisfagan simultáneamente los criterios técnicos y nutricionales del snack. En la tabla 65, se detallan los parámetros de optimización configurados, incluyendo las metas (maximizar, minimizar o rangos específicos), los límites obtenidos del diseño y el nivel de importancia asignado a cada variable para la obtención de la fórmula óptima.

Tabla 65

Restricciones utilizadas para optimizar el snack extruido

VARIABLES	Meta	Lim. Inferior	Objetivo	Lim. Superior	Imp.
HUMEDAD (%)	Objetivo	3,462	3,570	3,783	5
PROTEINA (%)	Máximo	9,830	10,640	10,640	5
FIBRA CRUDA (%)	Máximo	0,470	0,825	0,825	5
IE	Objetivo	3,181	4,620	5,034	5
DA (g/cm ³)	Mínimo	0,315	0,315	0,412	3
IAA (g gel/g m.)	Mínimo	4,509	4,509	5,931	3
ISA (%)	Máximo	19,338	35,339	35,339	5
L*	Objetivo	66,855	69,234	71,977	5
a*	Objetivo	5,713	5,900	7,113	3
b*	Máximo	24,583	28,332	28,332	3
Hardness C.(N)	Mínimo	179,511	179,511	263,828	5
Load at Target (N)	Mínimo	177,814	177,814	263,005	3
Hardness W (J)	Objetivo	2,982	3,624	4,267	3
Aceptabilidad	Máximo	4,200	5,500	5,500	5

La tabla 66, muestra las respuestas pronosticadas para cada variable dependiente (características proximales, tecnofuncionales y sensoriales), así como el valor de deseabilidad para cada una de estas variables, según el criterio de deseabilidad propuesto por Derringer & Suich (1980).

Tabla 66

Optimización de respuestas múltiples por criterios de deseabilidad

RESPUESTAS PRONOSTICADAS			
HUMEDAD (%)	3,570	deseabilidad	1,000
PROTEÍNA (%)	10,346	deseabilidad	0,637
FIBRA CRUDA (%)	0,605	deseabilidad	0,433
IE	4,618	deseabilidad	0,999
DA (g/cm ³)	0,338	deseabilidad	0,767
IAA (g gel/g muestra)	5,298	deseabilidad	0,445
ISA (%)	29,022	deseabilidad	0,605
L*	68,583	deseabilidad	0,726
a*	5,900	deseabilidad	1,000
b*	27,670	deseabilidad	0,824
<i>Hardness Cycle</i> (N)	210,783	deseabilidad	0,629
<i>Load at Target</i> (N)	207,315	deseabilidad	0,654
<i>Hardness Work Cycle 1</i> (J)	3,523	deseabilidad	0,842
ACEPTABILIDAD GENERAL	5,191	deseabilidad	0,762

En este caso, las variables con los valores más altos de deseabilidad son la humedad (1,000) y el parámetro de color a* (1,000), lo que indica que estas respuestas alcanzaron exactamente los objetivos establecidos durante el proceso de optimización. Asimismo, el Índice de expansión (IE) presenta una deseabilidad de 0,999, evidenciando un desarrollo estructural óptimo del snack extruido. Por otro lado, variables como b* (0,824), *Hardness Work Cycle 1* (0,842), densidad aparente (0,767), L* (0,726) y aceptabilidad general (0,762) muestran valores de deseabilidad entre altos e intermedios, lo que indica que el producto presenta características físicas, texturales y sensoriales equilibradas y tecnológicamente aceptables. En cuanto al contenido de proteína (0,637), ISA (0,605) y *Hardness Cycle* (0,629), sus niveles intermedios reflejan el compromiso propio de la optimización multivariable, donde la naturaleza del proceso impide maximizar simultáneamente todas las variables de respuesta.

Finalmente, la fibra cruda (0,433) y el índice de absorción de agua (IAA) (0,445) presentan los valores de deseabilidad más bajos. De acuerdo con el enfoque de Derringer y Suich (1980), este comportamiento evidencia un efecto de compromiso (trade-off). En ese sentido fue necesario limitar el incremento del contenido de fibra e índice de absorción de agua con el fin de preservar propiedades críticas del producto, como la expansión, la textura y la aceptabilidad sensorial. En conjunto, los resultados indican que la formulación optimizada representa un equilibrio adecuado entre propiedades nutricionales, físicas, texturales y sensoriales, maximizando la deseabilidad global del sistema más que las respuestas individuales.

El programa Design Expert permitió obtener tres formulaciones óptimas, de las cuales se consideró la que tuvo mayor deseabilidad. En la siguiente tabla se muestra la formulación con mayor deseabilidad (elegida) y sus respuestas estimadas.

Tabla 67

Formulaciones obtenidas tras la optimización simultánea de respuestas

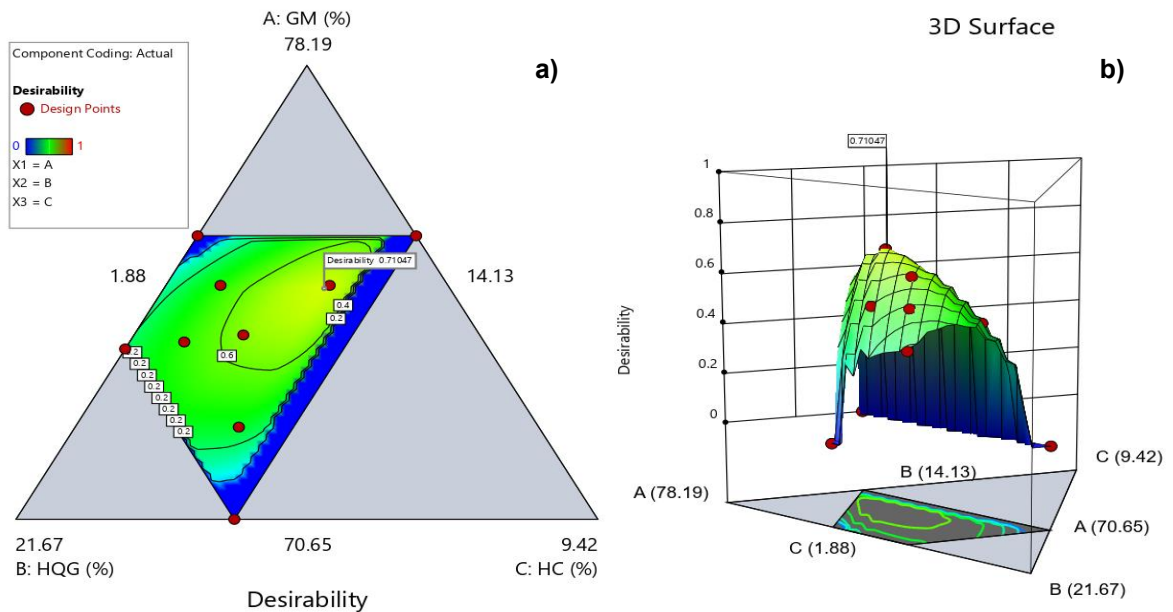
VARIABLES	VALORES PREDICHOS		
	OPM1	OPM2	OPM3
GM (%)	74,486	75,360	72,641
HQG (%)	15,758	14,904	18,840
HC (%)	3,956	3,936	2,719
HUMEDAD (%)	3,570	3,514	3,693
PROTEÍNA (%)	10,346	10,298	10,176
FIBRA CRUDA	0,605	0,561	0,629
IE	4,618	4,940	3,974
DA (g/cm ³)	0,338	0,322	0,363
IAA (g gel/g muestra)	5,298	5,467	5,241
ISA (%)	29,022	27,944	26,296
L*	68,583	68,780	69,807
a*	5,900	5,900	6,476
b*	27,670	28,402	26,174
<i>Hardness Cycle</i> (N)	210,783	196,775	237,278
<i>Load at Target</i> (N)	207,315	193,322	234,033
<i>Hardness Work Cycle</i> (J)	3,523	3,339	3,832
Aceptabilidad general	5,191	5,347	5,015
Deseabilidad	0,710	0,577	0,489

Nota. OPM1; Formulación optimo 1, OPM2; Formulación optimo 2, OPM3; Formulación optimo 3.

La tabla 67, muestra los valores óptimos de deseabilidad, siendo OPM1 el que presenta el valor más alto (0,710) lo que indica que esta formulación ofrece un mejor equilibrio entre las variables que se evaluaron. Por el contrario, las formulaciones OPM2 y OPM3 presentan menores deseabilidades y menor cumplimiento de los criterios de optimización.

Figura 38

Gráfico de contornos de deseabilidad (a) y superficie de respuesta (b)



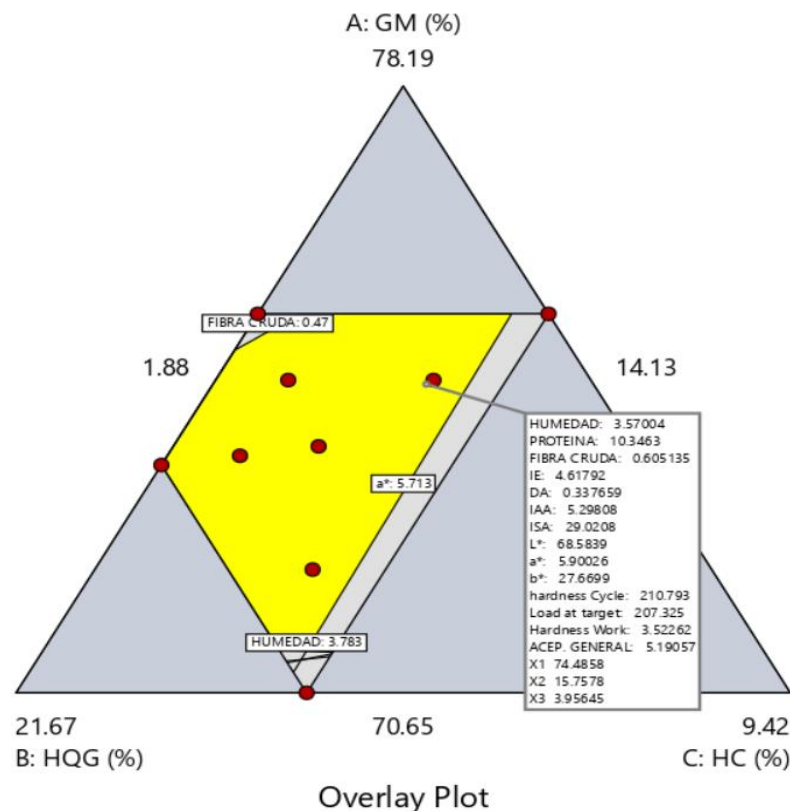
Nota. La figura muestra los gráficos en 2D de contornos (a) y superficie de respuesta 3D (b), con el punto óptimo de la deseabilidad de los componentes, ejecutado mediante el programa Design Expert V.13.

En la figura 38, se presentan los gráficos de contornos y superficie de respuesta, los cuales describen el espacio de diseño donde se identifica la región óptima en función de las proporciones de los componentes: A (grits de maíz, GM), B (harina de quinua germinada, HQG) y C (harina de cushuro, HC). Se observa que el incremento de GM, junto con niveles moderados de HQG y HC, favorece un aumento de la deseabilidad global del snack extruido. La escala de colores indica que las zonas rojo-amarillas corresponden a mayores valores de deseabilidad (cerca de 1), mientras que las zonas azules representan condiciones menos favorables. En particular, la región verde-amarillenta presenta un valor de deseabilidad de 0,71047, lo que indica un adecuado equilibrio entre las características proximales, tecnofuncionales y sensoriales. Por su parte, la superficie de respuesta en 3D muestra una configuración convexa, donde la deseabilidad global alcanza un valor máximo cercano a 0,710. El gráfico evidencia que

la calidad del snack es altamente sensible a la proporción de GM, observándose una disminución significativa de la deseabilidad al reducir este componente. Esto sugiere que el grits de maíz actúa como base estructural en la formulación, siendo fundamental para la formación de la matriz expandida, por lo que su reducción compromete las propiedades físicas y sensoriales del producto final.

Figura 39

Gráfico de superposición de contornos que determina la región óptima



Nota. La región amarilla indica la región factible de optimización y la región gris representa la región no factible.

En la figura 39, se presenta el gráfico de superposición de contornos (Overlay Plot) obtenido por el programa Design-Expert V.13 que permitió identificar la región óptima, donde el área amarilla, indica que todas las variables respuesta cumplen simultáneamente los criterios de optimización establecidos en el modelo, mientras que las áreas grises indican zonas fuera de los límites deseados. La formulación óptima correspondió al 74,49 % de grits de maíz (GM), 15,76 % de harina de quinua germinada (HQG) y 3,96 % de harina de cushuro (HC), que maximizaron la calidad físico-química, tecnológica y sensorial del snack extruido. Todas estas respuestas obtenidas mediante

el programa Design-Expert V.13 se aproximaron a la formulación experimental (T_9). Debido a esta cercanía y considerando que esta formulación fue evaluada experimentalmente, sus valores respuesta se consideraron como la respuesta validada.

3.5.1. Validación de la formulación óptima

En la tabla 68, se muestran los valores obtenidos mediante el Software Design Expert V.13 y los valores logrados tras la prueba experimental.

Tabla 68

Valores predichos y experimentales para cada variable de respuesta

Variables respuesta	Valores predichos	Valores experimentales
	Design Expert®	(T_9)-óptimo
GM (%)	74,486	74,530
HQG (%)	15,758	15,660
HC (%)	3,956	4,000
HUMEDAD (%)	3,570	3,615
PROTEÍNA (%)	10,346	10,38
FIBRA CRUDA (%)	0,605	0,68
IEE	4,618	4,503
DA (g/cm ³)	0,338	0,328
IAA (g gel/g muestra)	5,298	5,33
ISA (%)	29,022	31,023
L*	68,583	68,09
a*	5,900	5,72
b*	27,670	27,78
<i>Hardness Cycle</i> (N)	210,783	212,912
<i>Load at Target</i> (N)	207,315	210,794
<i>Hardness Work Cycle</i> (J)	3,523	3,545
Aceptabilidad general	5,191	5,47
Deseabilidad	0,710	----

La tabla 68, muestra los valores predichos del programa Design Expert® V.13 y los valores experimentales obtenidos en laboratorio para la formulación óptima (T_9). El modelo es robusto porque los valores experimentales obtenidos en el T_9 se encuentran dentro de los intervalos de confianza del 95% calculados por el programa. Esto demuestra que el modelo estadístico posee un alto poder predictivo y un ajuste preciso,

garantizando la confiabilidad de los resultados en las dimensiones proximal, tecnofuncional y sensorial del snack optimizado.

Por lo tanto, la humedad de la formulación óptima validada fue 3,615%, lo cual resulta adecuado para asegurar la crocancia, estabilidad microbiológica y vida útil prolongada del producto, cumpliendo con los estándares de la NTP 209.226.2023. En cuanto al contenido de proteína fue de 10,380 %, lo cual cumple con los requisitos mínimos establecidos por la D000347-2022-MIDIS/PNAEQW-DE. Mientras que la fibra cruda fue de 0,68 %. En las propiedades tecnofuncionales se reportaron 4,503 para índice de expansión (IE), 0,328 g/cm³ en densidad aparente (DA), 5,33 g gel/g muestra en índice de absorción de agua (IAA) y 31,023 % de índice de solubilidad en agua (ISA). Estos resultados evidenciaron una expansión óptima y una modificación controlada del almidón, asociada a la gelatinización y fragmentación parcial de sus cadenas. Los parámetros de color L*, a* y b* fueron (68,09, 5,72 y 27,78), respectivamente, lo que indica que el tratamiento térmico fue adecuado y que hubo poca degradación de los pigmentos. El parámetro textural dureza (*Hardness*) resulto ser 212,912 N, indicando una estructura interna homogénea y crujiente, atributo sensorial deseado en productos tipo snack. La aceptabilidad sensorial obtuvo una puntuación de 5,47 en la escala hedónica de 7 puntos, calificándose como “me gusta”. Esto refleja una buena integración de color, olor, sabor y textura lograda por la mezcla de las materias primas, demostrando que la formulación T₉ es adecuada para alcanzar un perfil equilibrado en los snacks extruidos.

En investigaciones previas por Lavado et al. (2022), en donde abordaron la optimización desde un enfoque nutricional, obtuvieron valores de deseabilidad de (0,7420), obteniendo la formulación óptima compuesta por grits de maíz (0%), harina de quinua germinada (14%) y harina de cañihua germinada (86%), cuyo contenido proteico fue de 16,28%, que fueron superiores a los resultados de esta investigación. Sin embargo, no tomaron en cuenta los parámetros texturales. De manera que los parámetros texturales no solo reflejan el comportamiento físico del producto, sino que actúan como indicadores directos de calidad sensorial y aceptación global del snack. Por ende, un snack que combina buenas propiedades texturales con un adecuado aporte nutricional suele presentar alta aceptabilidad. Este balance es fundamental, ya que los consumidores no solo buscan una textura agradable y crocante, sino también alimentos que aportan beneficios nutricionales.

3.6. COMPARACIÓN DE LOS SNACK

En la siguiente tabla, se muestran las composiciones nutricionales de los snacks extruidos comerciales con las formulaciones ($T_{control}$) compuestas por 75,36% de grits de maíz y 18,84% de harina de quinua sin germinar y la formulación (T_9), que fue la más aceptada sensorialmente y la óptima, compuesta por 74,53% de grits de maíz (GM), 15,66% de harina de quinua germinada (HQG) y 4,00% de harina de cushuro (HC).

Tabla 69

Composición nutricional del snack aceptado, control y los comerciales

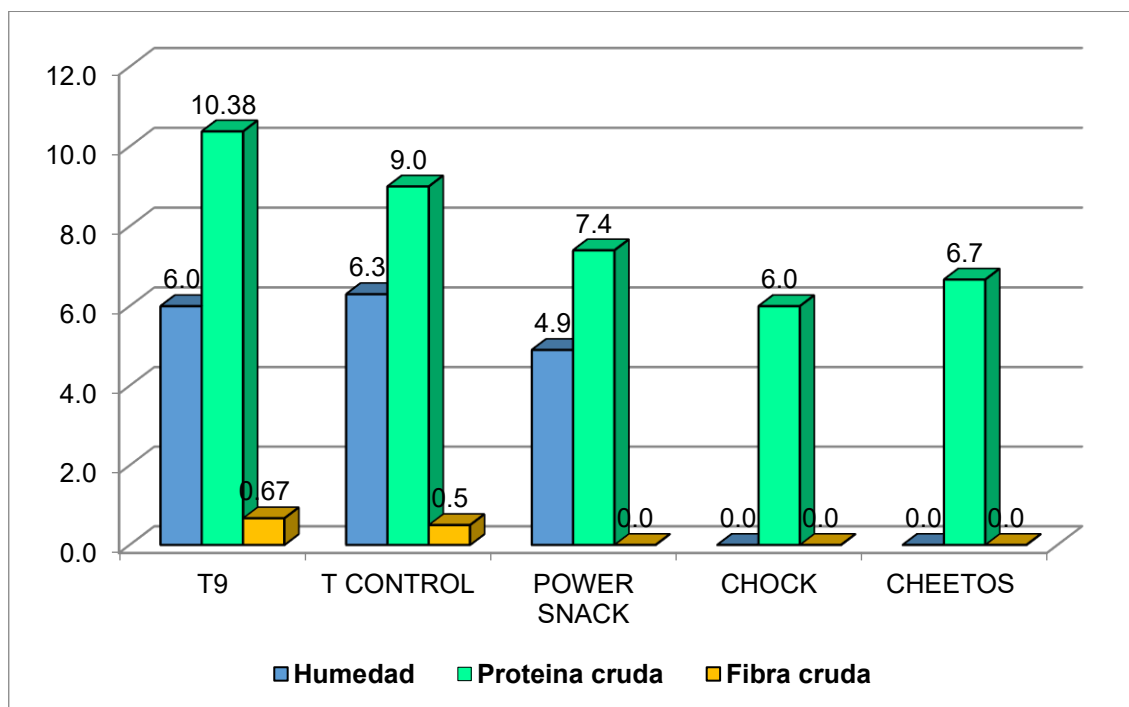
COMPOSICION	Formulación (T_9) /óptimo	Formulación (T control)	Power snack	Chock	Cheetos
Grasa (%)	1,10	0,40	10,40	1,70	26,67
Proteína cruda (%)	10,38	9,00	7,40	6,00	6,67
Fibra cruda (%)	0,67	0,50	-	-	-
Humedad (%)	6,00	6,30	4,90	-	-
Cenizas (%)	1,30	1,10	2,70	-	-
Carbohidratos (%)	81,30	83,20	74,60	81,00	60,00
Energía Total (Kcal/100g de muestra original)	376,30	372,40	421,60	363,30	506,67
%Kcal Carbohidratos	86,42	89,37	70,78	89,18	47,37
%kcal Grasa	2,63	0,97	22,20	4,21	47,37
%Kcal Proteína	10,95	9,67	7,02	6,61	5,26

La tabla 69, muestra la comparación en la composición nutricional de los snacks aceptados sensorialmente, control y los comerciales, donde las formulaciones desarrolladas destacan por su mayor contenido de proteína y fibra cruda, sobresaliendo (T_9). Así mismo, la energía total muestra una diferencia clara entre estos productos. Los Cheetos (506,67 kcal/100 g) y Power Snack (421,60 kcal/100 g) presentaron mayores densidades energéticas, lo cual se relaciona a su alto contenido graso, mientras que los snacks desarrollados tienen valores de (372-376 kcal/100 g). Este aporte en porción de 25 g (93-96 kcal) representa entre el 4,5-5% del VDR de energía para un individuo joven (2000-2100 kcal/día). Esto significa que una porción de 25 g de snack cubre una fracción relativamente baja de las necesidades energéticas diarias debido a que su distribución porcentual de energía que en su mayoría proviene de carbohidratos (86-89%) y proteínas (10%), con una cantidad reducida de grasa (<3%). Por el contrario, los

Cheetos, Power Snack y Chock presentaron un perfil energético desequilibrado entre 90-127 kcal/25 g con casi la mitad de las calorías provenientes de grasas (22-47%), cubriendo hasta el 6% del VDR. Estos hallazgos muestran que los snacks desarrollados presentan mejor aporte nutricional, con menos calorías y tienen menor contenido graso que los productos comerciales. Esto resalta su potencial como bocadillos saludables y de mayor valor nutricional, diferenciándolo de los productos convencionales disponibles en el mercado.

Figura 40

Comparación proximal de los snacks extruidos y los comerciales



En la figura 40, se muestra que al comparar la formulación (T₉), considerada como óptima y la más aceptada sensorialmente, presentó mayor contenido de proteína (10,38 %), seguida de la formulación (T_{control}) con 9,0 %, los cuales fueron superiores a los snacks comerciales, que oscilaron entre 6,0 % y 7,4 %. Esto evidencia que las formulaciones experimentales poseen mayor aporte proteico, lo que se le atribuye al uso de los ingredientes con alto contenido de proteína, como la harina de quinua germinada (HQG) y la harina de cushuro (HC). En cuanto al contenido de fibra cruda, se observó que los snacks experimentales presentaron valores entre 0,67 % y 0,5 %, mientras que los snacks comerciales mostraron ausencia de fibra o no lo declaran en su información nutricional. Este resultado indica que el snack desarrollado en la investigación tiene mayor valor funcional, ya que la fibra contribuye al tránsito intestinal, atributos ausentes

en los snacks del mercado. Respecto a la humedad, la formulación (T₉) y el control presentan los valores más altos (6,0 % y 6,3 %), mientras que el Power snack posee una humedad ligeramente menor (4,9 %). Chock y Cheetos no muestran contenido de humedad en su información nutricional. Sin embargo, hay una diferencia en los valores de humedad obtenidos para la formulación (T₉), ya que se evaluaron en dos laboratorios (3,62 % en Ayacucho y 6,30 % en Lima). Este cambio puede atribuirse principalmente a las condiciones ambientales y al comportamiento higroscópico del snack extruido. Esto demuestra que el snack desarrollado es altamente sensible a la humedad relativa del ambiente. Aunque cumplen con los requisitos establecidos por la NTP 209.60.2023 (< 5%) en condiciones secas, mientras que en ambientes húmedos puede absorber agua y superar el límite permitido, reduciendo su vida útil. Ante esto, Cheftel (1986) advierte que el empaque y las condiciones de almacenamiento deben diseñarse considerando esta interacción con el entorno. Esto se debe a que el equilibrio higroscópico entre el snack y el aire puede duplicar la humedad del producto en pocas horas si no se emplean materiales de barrera al vapor.

CONCLUSIONES

- La incorporación de harina de quinua germinada (HQG) y harina de cushuro (HC) incrementó significativamente la calidad nutricional del snack extruido. Los niveles máximos de proteína (10,64%), fibra cruda (0,823%) y humedad (3,754%) se alcanzaron en la formulación T₁, caracterizada por una mayor proporción de HQG y HC, superando a la formulación con predominio de GM (T₂), que presentó menores valores de proteína (9,83%), fibra (0,47%) y humedad (3,462%). El mejor equilibrio se obtuvo en las formulaciones (T₅, T₇, T₈ y T₉), que representaron el balance ideal, al incrementar significativamente el valor nutricional sin exceder los límites críticos de humedad.
- El índice de expansión (IE), es la variable matriz que define la calidad del snack: un IE máximo (5,034) en la formulación T₂ con alto contenido de GM, garantizó la menor densidad aparente (0,315 g/cm³), menor dureza (179,51 N), mayor absorción (IAA: 5,931 g/g), menor ISA (19,338%) y el mejor perfil cromático, con la mayor luminosidad (L*: 71,977) e intensidad de amarillos (b*: 28,18) y tonalidades rojizas (a*: 7,11). Por el contrario, la HQG y HC (T₁) limitó la expansión (3,181), mayor dureza (260,66 N), pero maximizó la solubilidad (ISA: 35,339%) y DA (0,412) reduciendo la intensidad del color y la porosidad. El equilibrio óptimo se logró en las formulaciones (T₅, T₇ y T₈ y T₉), las cuales integran la funcionalidad de la HC y HQG sin comprometer la ligereza, el atractivo visual y la dureza del snack extruido.
- La formulación T₉ compuesta por 74,53% de grits de maíz, 15,66% de harina de quinua germinada y 4,00% de harina de cushuro, recibió las mejores puntuaciones en los atributos organolépticos de color (5,43), olor (5,50), sabor (5,77) y aceptabilidad general (5,47), evidenciando una preferencia sensorial integral por parte de los panelistas. Mientras que la formulación T₂ (75,36% GM, 16,96% HQG y 1,88% HC) fue la mejor valorada en el atributo textura (5,53), lo que sugiere que favoreció una sensación crocante más pronunciada.
- Se identificó la región de optimización (Overlay Plot) con una deseabilidad de 0,710, estableciendo la mezcla óptima experimental en 74,53% GM, 15,66% HQG y 4,00% HC. La validación confirmó la robustez del modelo al alcanzar un perfil proximal balanceado de 10,38% proteína, 0,68% fibra cruda y 3,615% de

humedad. Tecnofuncionalmente, el producto mantuvo una alta expansión (IE: 4,503; DA: 0,328 g/cm³) y propiedades estables (ISA: 31,023%; IAA: 5,33 g/g). Asimismo, el perfil cromático (L*: 68,09; a*: 5,72; b*: 27,78), la textura instrumental (dureza: 212,912 N) y una aceptabilidad sensorial de 5,47, demostraron que el uso de HQG y HC en estas proporciones permite optimizar simultáneamente los atributos proximales, tecnofuncionales y sensoriales del snack extruido.

- El snack extruido con mayor aceptación sensorial presentó un perfil proximal más favorable en comparación con el control y los snacks comerciales estudiados, evidenciando mayores contenidos de proteína (10,38%) y fibra cruda (0,67%). En cuanto al contenido de humedad, mostró una variabilidad significativa (3,61–6%), atribuible a las diferencias en las condiciones ambientales estudiadas. Asimismo, frente a los snacks comerciales, la formulación desarrollada resalta por un aporte de nutrientes más consistente y un menor aporte energético, lo que indica un perfil más saludable.

RECOMENDACIONES

- Investigar la digestibilidad proteica para poder conocer la biodisponibilidad de la proteína de la formulación óptima.
- Realizar estudios sobre el contenido de minerales (hierro y calcio) del snack extruido óptimo, ya que las materias primas tienen un potencial para combatir la anemia.
- Evaluar el perfil nutricional más detallado (aminoácidos, fibra soluble e insoluble) y el contenido de ácido fólico del snack extruido óptimo, ya que en esta investigación solo se consideraron parámetros proximales.
- Evaluar la vida útil del snack extruido óptimo en función de su comportamiento higroscópico, considerando la influencia de la humedad ambiental en su calidad.
- Evaluar el efecto de otras condiciones de extrusión (temperatura, velocidad de tornillo y humedad de alimentación), ya que en la presente investigación se trabajó con parámetros constantes.
- Profundizar en el análisis de propiedades funcionales adicionales, como capacidad de hinchamiento y digestibilidad del almidón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abugoch. (2009). Chapter 1 Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. En *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 58, pp. 1-31). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)58001-1](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58001-1)
- Aburto, R. N., y Taboada, J. M. (2019). *Efecto del proceso de extrusión en la calidad proteica de un snack, utilizando quinua (Chenopodium quinoa) y harina de habas (vicia faba)* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional del Santa]. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3454>
- Acosta, K. L., y Campos, J. E. (2024). *Elaboración de galletas con sustitución parcial de harina de trigo por harinas de cáscara de maracuyá y quinua germinada* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional del Santa]. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4652>
- Adriano, W. (2019). *Conocimiento y aceptabilidad de platos a base de Nostoc "cushuro" como alternativa alimentaria en agentes comunitarios de salud en el distrito de Pueblo Libre, 2018* [Tesis para optar el título profesional de licenciado en nutrición, Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/3125>
- Aldave, A. (2015). *Algas toda una vida* (Vol.1). http://victorunyenzelezmoro.blogspot.com/2015/10/dr-augusto-aldave-pajares-algas-toda_17.html
- Alegre, R. E. A., Ojeda, M. C. O., y Acuña, A. Y. A. (2020). Análisis proximal y contenido de hierro y calcio de *Nostoc sphaericum* "cushuro" deshidratado procedente de la laguna de Conococha, Catac – Huaraz. *UCV-Scientia*, 12(2), 137-149. <https://doi.org/10.18050/revucv-scientia.v12i2.913>
- Al-Qabba, M. M., El-Mowafy, M. A., Althwab, S. A., Alfheaid, H. A., Aljutaily, T., & Barakat, H. (2020). Phenolic Profile, Antioxidant Activity, and Ameliorating Efficacy of *Chenopodium quinoa* Sprouts against CCl₄-Induced Oxidative Stress in Rats. *Nutrients*, 12(10), 2904. <https://doi.org/10.3390/nu12102904>
- Anderson, R., Conway, H., Peplinski, H., & Griffin, E. (1969). Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.1002/star.19700220408>

- Anzaldúa, A. (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. - Editorial Acribia, S.A. https://www.editorialacribia.com/libro/la-evaluacion-sensorial-de-los-alimentos-en-la-teoria-y-la-practica_53649/
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., y Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. <https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/06b66d94-b8d6-432c-b29c-42b5db9de9fb/content>
- Arenas, & Chasquibol, N. A. (2024). Development of Food Hydrogels with Andean Purple Corn (*Zea mays* L.) Extracts and Cushuro (*Nostoc sphaericum*) Polysaccharide: Rheological Characterization. *Biology and Life Sciences Forum*, 37(1), 1. <https://doi.org/10.3390/blsf2024037001>
- Arenas, y Heredia, A. K. (2017). *Calidad y germinación de semillas de quinua (Chenopodium quinoa willd.) almacenadas artesanalmente por productores* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional del Santa]. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/766>
- Azad, E. (2016). Extrusión. *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03413-2>
- Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F., & Galieni, A. (2019). Sprouted Grains: A Comprehensive Review. *Nutrients*, 11(2), 421. <https://doi.org/10.3390/nu11020421>
- Bordoloi, R., & Ganguly, S. (2014). *Extrusion technique in food processing and a review on its various technological parameters*. <https://www.semanticscholar.org/paper/EXTRUSION-TECHNIQUE-IN-FOOD-PROCESSING-AND-A-REVIEW-Bordoloi-Ganguly/a3661bfbfa15e0fef4378885f26a2487900a88f0>
- Bravo, E. N., y Ortega, J. F. (2017). *Efecto de la granulometría y formulación en la calidad de un snack extruido a base de arroz (oryza sativa l.), quinua (chenopodium quinoa Willd.) y torta desgrasada de chía (salvia hispánica l.)* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional del Santa]. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/2793>
- Brennan, J. (2011). *Manual de procesamiento de alimentos*. <https://doi.org/10.1002/9783527634361>

- Burbano, V. A. (2018). *Efecto de la mezcla griz de maíz (Zea mays) fréjol (Phaseolus vulgaris L) y diámetro de boquilla en el producto extrusado* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8456>
- Cadena, C. D. C., Santacruz, S. G. S., y Yáñez, S. X. Y. (2022). Elaboración de un snack salado extruido expandido a base de chocho (*Lupinus mutabilis*) y maíz. *Revista ESPAMCIENCIA*, 13(1), 32-38. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i1.223
- Capcha, K. M., Naventa, E. L., Rios Velasquez, C., y Sisa Huaccha, N. Y. (2020). *Evaluación de tres niveles de temperatura de secado del cushuro (Nostoc sp) en el color y porcentaje de proteína* [Para optar el grado académico de bachiller en Ingeniería Agroindustrial, Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/20.500.14005/repositorio.usil.edu.pe>
- Carretero, M. Á. (2014). *Análisis sensorial de alimentos | Esquemas y mapas conceptuales de Análisis Químico e Instrumental | Docsity*. <https://www.docsity.com/es/docs/analisis-sensorial-de-alimentos-1/7373526/>
- Cayambe, F. B. (2024). *Caracterización De Germinado De Quinoa (Chenopodium quinoa)* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/13324>
- Charkraborty, C., Singh, D., Kumbhar, Dheer, B., & Singh, D. (2009, diciembre 2). *Process parameter optimization for textural properties of ready-to-eat extruded snack food from millet and legume pieces blends | Request PDF*. https://www.researchgate.net/publication/230281289_Process_parameter_optimization_for_textural_properties_of_ready-to-eat_extruded_snack_food_from_millet_and_legume_pieces_blends
- Chasquibol, N., Sotelo, A., & Alarcón, R. (2023). Development of Powdered Beverage with Cushuro (*Nostoc commune*) Concentrated Protein and Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Biology and Life Sciences Forum*, 25(1), 2. <https://doi.org/10.3390/blsf2023025002>
- Chasquibol, N., Sotelo, A., Tapia, M., Alarcon, R., Goycoolea, F. M., y Hernández-Álvarez, A. J. (2025). Evaluación del cushuro (*Nostoc sphaericum*) como fuente

- alternativa de minerales, proteínas funcionales y péptidos bioactivos. *LWT*, 217, 117426. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117426>
- Chávez-Jáuregui, R., Silva, M., & Arêas, J. (2000). Extrusion Cooking Process for Amaranth (*Amaranthus caudatus* L.). *Journal of Food Science*, 65(6), 1009-1015. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb09408.x>
- Cheftel, J. C. (1986). Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food Chemistry*, 20(4), 263-283. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(86\)90096-8](https://doi.org/10.1016/0308-8146(86)90096-8)
- Choque-Quispe, B. M., Mamani Arriola, M. M., Rivera Valdivia, K., Choque-Quispe, B. M., Mamani Arriola, M. M., y Rivera Valdivia, K. (2023). Consumo de Alimentos Procesados y Ultraprocesados, y su relación con la actividad física en adolescentes. *Comuni@cción*, 14(2), 111-121. <https://doi.org/10.33595/2226-1478.14.2.838>
- Codex Alimentarius Commission. (2009). *31st session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses (CCNFSDU) (Document NF31/3). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) / World Health Organization (WHO)*. https://workspace.fao.org/sites/codex/Shared%20Documents/Archive/Meetings/CCNFSDU/ccnfsdu31/nf31_03s.pdf
- Contreras-Jiménez, B., Torres-Vargas, O. L., & Rodríguez-García, M. E. (2019). Physicochemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and isolated starch. *Food Chemistry*, 298, 124982. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124982>
- Corpus, A., Alcantara, M., Celis, H., Echevarria, B., Paredes, J., y Paucar, L. M. (2021). Cushuro (*Nostoc sphaericum*): Hábitat, características fisicoquímicas, composición nutricional, formas de consumo y propiedades medicinales. *Agroindustrial Science*, 11(2), 231-238. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.13>
- Cutipa, T. (2022). *Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo (Triticum aestivum L.) por harina de cushuro (Nostoc sphaericum) en el volumen y características organolépticas del pan francés* [Tesis para optar el título profesional de ingeniera de industrias alimentarias, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5195>

- Dakhili, S., Abdolalizadeh, L., Hosseini, S., Shojaee-Aliabadi, S., & Mirmoghtadaie, L. (2019). Quinoa protein: Composition, structure and functional properties. *Food Chemistry*, 299, 125161. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125161>
- Darwish, A. M. G., Al- Jumayi, H. A. O., & Elhendy, H. A. (2021). Effect of germination on the nutritional profile of quinoa (*Cheopodium quinoa* Willd.) seeds and its anti-anemic potential in Sprague–Dawley male albino rats. *Cereal Chemistry*, 98(2), 315-327. <https://doi.org/10.1002/cche.10366>
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). *Simultaneous Optimization of Several Response Variables* (Vol. 12). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/00224065.1980.11980968>
- Ding, Q., Tucker, G., & Marson, H. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 66(3), 283-289. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.019>
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: Su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 00-00. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362010000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Durán-Hernández, D., Gutiérrez-Hernández, G. F., Arellano-Vázquez, J. L., García-Ramírez, E., y Virgen-Vargas, J. (2011). Caracterización molecular y germinación de semillas de maíces criollos azules con envejecimiento acelerado. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 11-20. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1659-13212011000100002&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Espinoza, C., Roldan, D., y Martínez, O. (2021). Elaboración de snack extruido a partir de cereales y concentrado de proteína de pota (*Dosidicus gigas*) y determinación de su vida útil. *Anales Científicos*, 82(1), 180-191. <https://doi.org/10.21704/ac.v82i1.1754>
- Espinoza, R. (2023). *Valor nutricional y evaluación de la aceptabilidad de un snack de maíz amarillo (*Zea mays* L.), haba (*Vicia faba*), mijo (*Panicum miliaceum*) y harina de pota (*Dosidicus gigas*)* [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/12349>

- FAO. (2011a). *El maíz en la nutrición humana—Índice*. FAO. <https://www.fao.org/4/t0395s/T0395S00.htm#Contents>
- FAO. (2011b). *La quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. <https://openknowledge.fao.org/items/03cb26da-baec-4500-bc5a-4f54f5423869>
- FAO. (2017). *Variedades de quinua*. FAO. <https://www.midagri.gob.pe/portal/marco-legal/444-granos-andinos/9377-variedades-de-quinua>
- FAO/WHO/UNU. (2007). *Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation* (No. 935; WHO Technical Report Series). World Health Organization. <https://iris.who.int/items/78c03092-bcc2-40f5-90d1-60641ecdf6ea>
- Galetovic, A., E. Araya, J., Gómez-Silva, B., Galetovic, A., E. Araya, J., y Gómez-Silva, B. (2017). Composición bioquímica y toxicidad de colonias comestibles de la cianobacteria andina *Nostoc* sp. Llayta. *Revista chilena de nutrición*, 44(4), 360-370. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182017000400360>
- Gilabert, E. J., y Martínez, F. M. (2007). *Medida de la luz y el color: T.II. : Aplicaciones*. edUPV, Editorial Universitat Politècnica de València. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=663435>
- Grande, C. D., y Orozco, B. S. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Guillermo de Ockham*, 11(1), 97-110. <https://doi.org/10.21500/22563202.604>
- Gutiérrez, H., y De la vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2da edición). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
- Guy, R. (2001). *Extrusion Cooking: Technologies and Applications*. Woodhead Publishing.
- Gwartz, J. A., & Garcia, M. N. (2014). Processing maize flour and corn meal food products. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 66-75. <https://doi.org/10.1111/nyas.12299>

- Huang, X., Liu, H., Ma, Y., Mai, S., & Li, C. (2022). Effects of Extrusion on Starch Molecular Degradation, Order–Disorder Structural Transition and Digestibility— A Review. *Foods*, 11(16), 2538. <https://doi.org/10.3390/foods11162538>
- Hussain, M. I., Farooq, M., Syed, Q. A., Ishaq, A., Al-Ghamdi, A. A., & Hatamleh, A. A. (2021). Botany, Nutritional Value, Phytochemical Composition and Biological Activities of Quinoa. *Plants (Basel, Switzerland)*, 10(11), 2258. <https://doi.org/10.3390/plants10112258>
- INIAP, I. N. A. de I. A. (2011). *Informe anual 2011. Estudio de la comercialización y producción de productos andinos*. Santo Domingo, EC: INIAP, Estación Experimental Santo Domingo, Departamento de Producción y Servicios, 2011. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4005>
- Joy, C., & Vernaza, M. (2025). Thermoplastic Extrusion in Food Processing. En *ResearchGate*. <https://doi.org/10.5772/36874>
- Kierulf, A., Whaley, J., Liu, W., Enayati, M., Tan, C., Perez-Herrera, M., You, Z., & Abbaspourrad, A. (2020). Protein content of amaranth and quinoa starch plays a key role in their ability as Pickering emulsifiers. *Food Chemistry*, 315, 126246. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126246>
- Kuehl, R. O. (2000). *Design of experiments: Statistical principles of research design and analysis* (2. ed). Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Lavado, A. A. (2022). *Desarrollo de un extruido saludable a partir de harinas de quinua y cañihua germinadas con adición de maíz* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional de Santa]. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4099>
- Lavado-Cruz, A. A., Schmiele, M., Paucar-Menacho, L. M., Verona-Ruiz, A. L., Mollá, C., Peñas, E., Frias, J., Simpalo-Lopez, W. D., Castillo-Martínez, W. E., & Martínez-Villaluenga, C. (2022). Andean Sprouted Pseudocereals to Produce Healthier Extrudates: Impact in Nutritional and Physicochemical Properties. *Foods*, 11(20), 3259. <https://doi.org/10.3390/foods11203259>
- Lázaro, J. E., y Sotelo, M. G. (2017). *Optimización por diseño de mezcla de un snack de grits de maíz amarillo (Zea mays), harina de quinua (Chenopodium quinoa) y harina de garbanzo (Cicer arietinum) obtenido mediante extrusión* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional de Santa].

<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3054/47049.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Leiva, C. L., y Sulluchuco, P. (2018). *Evaluación de la aceptabilidad del cushuro (Nostoc sphaericum) en preparaciones culinarias saladas y dulces, por estudiantes universitarios, Lima – 2018* [Tesis para optar el título profesional de licenciada en nutrición humana, Universidad Peruana Unión]. <https://hdl.handle.net/20.500.12840/1612>
- Majumdar, R. K., & Singh, R. (2012). The Effect of Extrusion Conditions on the Physicochemical Properties and Sensory Characteristics of Fish-Based Expanded Snacks. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12041>
- Mäkilä, L., Laaksonen, O., Ramos-Díaz, J. M., & Vahvaselkä, M. (2014). Exploiting blackcurrant juice press residue in extruded snacks. *ScienceDirect*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.005>
- Maldo, P., & Conti-Silva, A. (2014). Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 121, 9-14. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.007>
- Maskan & Altan. (2012). *Advances in Food Extrusion Technology* (1.^a edición). https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781439815212_A23982882/preview-9781439815212_A23982882.pdf
- Mataix, J. (2012). *Nutrición y alimentación humana: Nutrientes y alimentos: Vol. I* (2da edición). <https://libros.ergon.es/wp-content/uploads/primeras-paginas/978-84-8473-664-6.pdf>
- Méndez-Ancca, S., Pepe-Victoriano, R., Gonzales, H. H. S., Zambrano-Cabanillas, A. W., Marín-Machuca, O., Rojas, J. C. Z., Maquera, M. M., Huanca, R. F., Aguilera, J. G., Zuffo, A. M., & Ratke, R. F. (2023). Physicochemical Evaluation of Cushuro (*Nostoc sphaericum* Vaucher ex Bornet & Flahault) in the Region of Moquegua for Food Purposes. *Foods*, 12(10), 1939. <https://doi.org/10.3390/foods12101939>
- Mendoza, E. E., y Salazar, M. K. (2025). *Optimización de la adición de sangre avícola como fuente de hierro hemínico en extruidos elaborados a partir de maíz (Zea mays) y quinua (Chenopodium quinoa)* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, Universidad Privada de Tacna]. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/4069>

- Mendoza, J. N. (2024). *Formulación de un snack de quinua blanca (Chenopodium quinoa Willd), chía (Salvia hispánica) Y maíz amarillo duro (Zea mays) por proceso de extrusión* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero de negocios agronomicos y forestales, Universidad Nacional Autónoma de Huanta]. <https://repositorio.unah.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3e454541-8fc2-4dad-b4dc-a9f815667605/content>
- Mian, R., & Galen, R. (2012). *Extrusion Problems Solved*. http://www.sciencedirect.com:5070/book/monograph/9781845696641/extrusion-problems-solved?utm_source
- MIDIS. (2024). *Especificaciones técnicas de alimentos del programa nacional de alimentación escolar Qali Warma-NTP 209. 226. 1984 cereal expandido/ extruido*. <https://www.gob.pe/wasimikuna>
- MINSA, M. de S. del P. (2018). *Tablas peruanas de composición de alimentos* (p. 146). <https://repositorio.ins.gob.pe/server/api/core/bitstreams/2ee9e34b-d816-4f34-8fb9-81ae3b0fd3e5/content>
- Mironeasa, S., Coțovanu, I., Mironeasa, C., & Ungureanu-luga, M. (2023). A Review of the Changes Produced by Extrusion Cooking on the Bioactive Compounds from Vegetal Sources. *Antioxidants*, 12(7), 1453. <https://doi.org/10.3390/antiox12071453>
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y Análisis de Experimentos* (2da edición). EDITORIAL LIMUSA, S.A. de C.V. GRUPO NORIEGA. <https://es.scribd.com/document/402155956/Diseno-y-Analisis-de-Experimentos-Montgomery>
- Morales, J. C. (2019). *Evaluación del efecto de la mezcla entre gritz de maíz (Zea mays) gritz de zanahoria blanca (Arracacia xanthorrhiza) y el diámetro de salida de la boquilla en el producto extruido* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9786>
- Morales, M. (2014). *Obtención de un polvo instantáneo por atomización a partir fr extracto de la cáscara de la haba (Vicia faba) tostada* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga].

<https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/af24a3fa-91f5-469e-8014-f01f47547be8/content>

- Moreno, F., Plaza, G. A., y Magnitskiy, S. V. (2006). Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). *Agronomía Colombiana*, 24(2), 290-295. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-99652006000200011&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Mościcki, L., & Van, D. J. (2011). Extrusion-Cooking and Related Technique. En L. Moscicki (Ed.), *Extrusion-Cooking Techniques* (1.^a ed., pp. 1-24). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527634088.ch1>
- Muñoz, K. S., Parra-Polanco, A. S., Roa, D. F., Hoyos, J. L., & Bravo, J. E. (2022). Physical and Paste Properties Comparison of Four Snacks Produced by High Protein Quinoa Flour Extrusion Cooking. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.852224>
- Navruz-Varli, S., y Sanlier, N. (2016). Beneficios nutricionales y para la salud de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science*, 69, 371-376. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.004>
- NCBI. (2014). *Nostoc spahericum*. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=1177&mode=Info&utm_source
- Nowak, V., Du, J., & Charrondiére, U. R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 193, 47-54. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111>
- NTC 3659. (2006). *Norma NTC 3659: Cereales Extruídos | Comida y bebida | Alimentos*. <https://es.scribd.com/document/397853340/265384021-Ntc3659-Extruidos-a-Base-de-Cereales-pdf>
- NTP. 209. 226. (2023). *Norma Técnica del Inacal impulsa calidad de los bocaditos a base de cereales para mejorar su comercialización* (No. 209.226). <https://www.gob.pe/institucion/inacal/noticias/946593-norma-tecnica-del-inacal-impulsa-calidad-de-los-bocaditos-a-base-de-cereales-para-mejorar-su-comercializacion>

- Obregón, M. E. (2023). *Propiedades tecnofuncionales, térmicas y estructurales de una mezcla alimenticia extruida y fortificada con pulpa de nopal (Opuntia ficus indica) y harina de quinua germinada (Chenopodium quinoa Willd)* [Tesis para optar el grado académico de maestro en ciencia y tecnología de alimentos, Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco]. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/8144>
- Parker. (2019). *Puffed and extruded snacks seek bases with better nutritional benefits*. Snack Food & Wholesale Bakery. <https://www.snackandbakery.com/articles/93758-puffed-and-extruded-snacks-look-for-bases-with-better-nutritional-benefits>
- Parra, A. (2005). Optimización del proceso de extrusión para la obtención de pasapalos a base de harinas compuestas de maíz (*Zea mays*) y quinchoncho (*Cajanus cajan* L. millsp). *Agrollania de ciencia y tecnología*.
- Pasqualone, A., Costantini, M., Coldea, T. E., & Summo, C. (2020). Use of Legumes in Extrusion Cooking: A Review. *Foods*, 9(7), 958. <https://doi.org/10.3390/foods9070958>
- Paucarchuco, J., y Vilchez, J. E. (2024). Aplicación alimentaria de la quinua germinada y valorización de sus propiedades nutricionales, biológicas y funcionales: Una revisión sistemática. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 26(2), 105-118. <https://doi.org/10.18271/ria.2024.599>
- Paucar-Menacho, L. M., Vásquez Guzmán, J. C., Simpalo-Lopez, W. D., Castillo-Martínez, W. E., & Martínez-Villaluenga, C. (2023). Enhancing Nutritional Profile of Pasta: The Impact of Sprouted Pseudocereals and Cushuro on Digestibility and Health Potential. *Foods*, 12(24), 4395. <https://doi.org/10.3390/foods12244395>
- Pavani, M., Singha, P., Rajamanickam, D. T., & Singh, S. K. (2024). Impact of extrusion processing on bioactive compound enriched plant-based extrudates: A comprehensive study and optimization using RSM and ANN-GA. *Future Foods*, 9, 100286. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100286>
- Peña, A., Vidaurre, J. M., y Delgado, V. (2020). *Influencia de la germinación sobre los azúcares reductores en Quinua y su efecto en los atributos tecnológicos del pan*. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero en industrias alimentarias, Universidad Nacional Agraria la Molina].

<https://agris.fao.org/search/en/providers/122635/records/65fc2cbfce216acd4b80eb48>

- Pérez, K. P. (2019). *Elaboración de un bocadito extruido de quinua, tarwi y fécula de camote para niños escolares* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero en industrias alimentarias, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3894>
- Philipp, C., Buckow, R., Silcock, P., & Oey, I. (2017). Instrumental and sensory properties of pea protein-fortified extruded rice snacks. *Food Research International*, 102, 658-665. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.048>
- Pilco-Quesada, S., Tian, Y., Yang, B., Repo-Carrasco-Valencia, R., & Suomela, J.-P. (2020). Effects of germination and kilning on the phenolic compounds and nutritional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*, 94, 102996. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102996>
- Pita, J., y Pérez, F. (2019). Germinación de semillas. *Ministerio de agricultura, pesca y alimentación*, 20. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1998_2090.pdf
- Ponce, E. (2014). Nostoc: Un alimento diferente y su presencia en la precordillera de Arica. *Idesia (Arica)*, 32(2), 119-121. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292014000200015>
- Qiu, C., Hu, H., Chen, B., Lin, Q., Ji, H., & Jin, Z. (2024). Research Progress on the Physicochemical Properties of Starch-Based Foods by Extrusion Processing. *Foods*, 13(22), 3677. <https://doi.org/10.3390/foods13223677>
- Ramachandra, H. G., & Thejaswini, M. L. (2015). Extrusion Technology: A Novel Method of Food Processing. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2, 369.
- Ramos, B. S., Choque, D., Ligarda, C. A., Solano, A. M., Palomino, H., Choque, Y., Peralta, D. E., Moscoso, E., & Aiquipa, Á. S. (2024). Effect of Germination on the Physicochemical Properties, Functional Groups, Content of Bioactive Compounds, and Antioxidant Capacity of Different Varieties of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Grown in the High Andean Zone of Peru. *Foods*, 13(3), 417. <https://doi.org/10.3390/foods13030417>

- Remache, A. S. (2016). *Desarrollo de un snack por extrusión de la mezcla de maíz zeamays quinua chenopodium quinoa y chocho lupinus mutabilis sweet saborizado* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5316>
- Ren, G., Teng, C., Fan, X., Guo, S., Zhao, G., Zhang, L., Liang, Z., & Qin, P. (2023). Nutrient composition, functional activity and industrial applications of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 410, 135290. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135290>
- Repo-Carrasco, R. (1998). *Introducción a la ciencia y tecnología de cereales y de granos andinos*. s.n.
- Repo-Carrasco, R., y Encina, C. R. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2), 85-99. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1810-634X2008000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Repo-Carrasco, R., Pilco, J. J., y Zelada, C. R. E. (2011). Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y maíz (*Zea mays* L.). *Ingeniería Industrial*, 29, 209-224. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428495012>
- Rojas, A. C. (2021). *Caracterización fenotípica de 402 accesiones de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) en condiciones de La Molina—Lima* [Tesis para optar el título profesional de ingeniera agrónoma, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4804>
- Ruiz, A., Zazueta, J., & Aguilar, E. (2017). Effect of extrusion on the carotenoid content, physical and sensory properties of snacks added with bagasse of naranjita fruit: Optimization process. *Journal of Food*, 16, 180. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19476337.2017.1368717>
- Ruiz, M. (2009). *El análisis de tetrazolio en el control de calidad de semillas. Caso de estudio: Cebadilla chaqueña*. https://www.researchgate.net/publication/280776094_El_analisis_de_tetrazolio_en_el_control_de_calidad_de_semillas_Caso_de_estudio_cebadilla_chaquena

- Salas, W. (2003). *Aplicación del sistema HACCP en el proceso de elaboración de alimentos de reconstitución instantánea a base de cereales extruídos* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/3ee2469d-593c-42d9-9a87-144f7fa542cc/content>
- Sarmiento, L. F., Murrillo, S. L., Galvis, J. D., Rodríguez, L. J., Igual, M., García-Segovia, P., & Orrego, C. E. (2025). Physicochemical and Functional Properties and In Vitro Digestibility of Green Banana Flour-Based Snacks Enriched With Mango and Passion Fruit Pulp by Extrusion Cooking. *International Journal of Food Science*, 2025(1), 5204346. <https://doi.org/10.1155/ijfo/5204346>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2015). *NTP INEN: 3084 Mezclas alimenticias. Requisitos* (No. 3084). INEN.
<https://es.scribd.com/document/394063986/Nte-Inen-3084>
- Subaric, V., Jurislav, B., & Jozinovic, D. (2014). *Mejoramiento de las propiedades nutricionales y funcionales de alimentos extruidos*.
- Sule, S., Ifeanyi, G., Clement, O., Terpase, S., & Onyinyechi. (2024). Applications of food extrusion technology. *ResearchGate*, 12.
<https://doi.org/10.15406/mojfpt.2024.12.00301>
- Szczesniak, A. (1963). Clasificación de las características texturales. *Journal of Food Science*. <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2621.1963.tb00215.x>
- Taimal, R. M. (2019). *Efecto de los parámetros de extrusión sobre la calidad nutricional y textura en la mezcla de maíz Zea mays, chocho Lupinus mutabilis Sweet y papa Solanum tuberosum en el snack* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, Universidad Técnica del Norte].
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9787>
- Thakur, P., Kumar, K., Ahmed, N., Chauhan, D., Eain Hyder Rizvi, Q. U., Jan, S., Singh, T. P., & Dhaliwal, H. S. (2021). Effect of soaking and germination treatments on nutritional, anti-nutritional, and bioactive properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.), quinoa (*Chenopodium quinoa* L.), and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.). *Current Research in Food Science*, 4, 917-925.
<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.11.019>

- Tovar, C. E., Perafán, E. A., Enriquez, M. G., y Pismag Portilla, Y. (2017). Evaluación del efecto del proceso de extrusión en harina de quinua (*chenopodium quinoa willd*) normal y germinada. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 15(2 Julio a diciembre), 30-38. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117935>
- Ugás, R. (2014). *40 viejas y nuevas verduras para diversificar tu alimentación y nutrirtte mejor*. <https://cendoc.chirapaq.org.pe/items/show/9924>
- Valderrama-Amasifuen, F., Arteaga, H., Flores-Perez, A. E., Obregón, J., y Barraza-Jáuregui, G. D. C. (2021). *Snacks a base de maíz morado, quinua y kiwicha. Características físicas y sensoriales*. <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/920>
- Valenzuela, Morales, Z., Palazuelos, A., Valenzuela, L., y Hernandez, C. (2011). *Extrusión Cocción en el Procesamiento de Maíz: Cambios Físicos, Químicos y Calidad de Productos*.
- Vilches, F. A. (2005). *Formulación y elaboración de un “snack” de arándano con incorporación de fibra dietética* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero agrónomo, Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/101749/vilches_f.pdf?sequence=4
- Vílchez, L. M., Guevara, A., y Encina, C. R. (2012). Influencia del tamaño de partícula, humedad y temperatura en el grado de gelatinización durante el proceso de extrusión de maca (*Lepidium meyenii* Walp). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 78(2), 126-137. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1810-634X2012000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es

ANEXOS

ANEXO 1. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CALIDAD DEL SNACK

1) ANÁLISIS PROXIMAL

Para realizar la caracterización de materia prima y análisis de las 9 formulaciones, se emplearon los siguientes procedimientos.

a) Determinación de humedad

- Se procedió a triturar las muestras de los snacks extruidos.
- Se pesaron 5 g de cada muestra por triplicado en cada placa Petri, las cuales fueron llevadas a la estufa a 60°C por un tiempo de 12 horas.
- Transcurrido el tiempo, se retiraron de la estufa y se volvieron a pesar.
- Finalmente, se determinó la humedad con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{peso de muestra seca}}{\text{peso de la muestra húmeda}} * 100$$

b) Determinación del extracto etéreo

- Se puso a secar los balones a utilizar en una estufa a 111 °C durante 1 hora; luego se llevó a enfriar en un desecador.
- Se procedió a pesar los balones y se anotaron los pesos.
- Pesamos 5 g de muestra seca y empaquetamos en un pedazo de papel filtro Whatman N° 2, colocándolo en el cuerpo del aparato Soxhlet, donde luego se le agregó 150 mL de n-hexano.
- Se instaló el equipo Soxhlet, incluyendo una hornilla, un condensador de reflujo, el cuerpo del extractor y un balón. Se hizo circular agua fría por medio del condensador y se encendió la hornilla para calentar el solvente hasta 69 °C. Al llegar a esa temperatura, el solvente se comenzó a evaporar y subir hacia la parte de arriba del equipo, donde la refrigeración por agua provocó su condensación; el mismo se precipitó sobre la muestra y volvió al balón a través del sifón, llevando consigo el extracto etéreo. Por último, el sistema funcionó con un ciclo cerrado, conservando una velocidad de goteo estable entre 40 y 60 gotas al minuto.
- El proceso duró 3 horas; el balón se retiró del equipo Soxhlet cuando se observó la presencia de poco solvente (momentos antes de que esta sea sifonada desde el cuerpo).
- Se evaporó el n-hexano del balón en una estufa y se enfrió en una campana de desecación.

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \frac{(P_3 - P_2)}{P_1} \times 100$$

Donde:

P₁: Peso de muestra

P₂: Peso balón vacío

P₃: Peso de balón con muestra

c) Determinación de fibra cruda

Digestión ácida

- Pesamos 2 g de la muestra (seca y exenta de grasa) y lo colocamos en un matraz de Erlenmeyer de 500 ml.
- Agregamos 200 mL de H₂SO₄ al 1,25% y gotas de alcohol amílico; seguidamente lo llevamos a ebullición durante 30 minutos.
- Pasado el tiempo de ebullición, lo filtramos y lavamos con agua caliente, hasta neutralizar la acidez, corroborando con papel indicador universal.

Digestión alcalina.

- Pasamos la muestra cuantitativamente a un balón de 500 mL y le agregamos 200 mL de NaOH al 1,25%, llevándolo a ebullición nuevamente por 30 minutos.
- Filtramos y lavamos con agua caliente, hasta neutralizar la basicidad.
- Pesamos un crisol vacío (P₁), lo colocamos en la estufa el crisol más la muestra por 2-3 horas, luego se dejó enfriar y se pesó (P₂).
- Luego lo colocamos a la mufla para eliminar la materia orgánica y obtuvimos la ceniza, terminando pesándolo nuevamente (P₃).

$$\text{g de fibra bruta} = (P_2 - P_1) - P_3$$

Donde

P₁: Peso de crisol vacío

P₂: Peso de crisol + fibra bruta + ceniza

P₃: Peso final de ceniza

Para:

$$\% \text{Fibra bruta} = \frac{\text{g de fibra bruta}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

d) Determinación de Proteína

Digestión

- Pesamos 100 mg de muestra por duplicado en papel para pesar, lo envolvimos e introducimos en el matraz de Kjeldahl para que nuestra muestra no se impregnara en las paredes.
- Agregamos 4 mL de la solución digestora; para mezclarlo, giramos ligeramente el balón de Kjeldahl.
- Digerimos por aparte un blanco que contenía solamente los reactivos sin muestra.
- Se llevó los balones a la cámara de digestión por 2-3 horas hasta que se observó que la muestra digerida tomó un color blanco lechoso.

Destilación

- Se calentó el destilador Marckman hasta que el agua hirvió por unos minutos en el condensador.
- Se colocó un vaso precipitado de 250 mL en el extremo del tubo de salida del destilador, conteniendo 20 mL de ácido bórico 2%, con el indicador Tashiro. Se cuidó que la salida del tubo estuviera sumergida en la solución de ácido bórico hasta que el amonio se evapore y atrapó todo el NH_3 (amoníaco).
- Colocamos la muestra digerida en el condensador, la muestra se transfirió al balón de Kjeldahl por 3 veces con agua destilada e inmediatamente agregamos la solución alcalina de NaOH AL 40% hasta que cambió de color morado a verde cristalino.

Titulación

- El destilado se tituló con H_2SO_4 0,025 N valorado hasta que la solución viró de un color verde a un color gris azulado.
- Se anotó el gasto de H_2SO_4 0,025 N de la muestra y el blanco; por diferencia se halló el gasto real en la titulación.

$$\%N = \frac{\text{mL H}_2\text{SO}_4 \times N \times 14 \times 100}{\text{m muestra (mg)}}$$

Dónde:

mL H_2SO_4 = Gasto real

N = Normalidad de H_2SO_4

14 = Peso atómico del Nitrógeno

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ Nitrógeno} \times 6,25$$

2) PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

a) Índice de expansión

Le determino mediante mediciones de los snacks extruidos obtenidos; se realizaron utilizando un calibrador Vernier tomado por la diferencia entre el diámetro del material extruido y el diámetro de la matriz. Empleando la siguiente fórmula.

$$IE = \frac{DE}{DM}$$

Dónde:

IE = índice de expansión

DE = diámetro del extruido (mm)

DM = diámetro de la matriz (mm).

b) Densidad aparente

Se determinó la relación entre la masa de la muestra extruida y el volumen de la misma, siguiendo la metodología.

$$\rho = \frac{m}{\left(\pi \times c \times \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right)}$$

Dónde:

ρ = Densidad aparente (g/cm³)

m = Masa de la muestra (g)

c = Longitud de la muestra (cm)

d = Diámetro de la muestra (cm)

c) Índice de absorción de agua (IAA)

Para determinar el índice de absorción de agua, se llevó 10 g de muestra a la estufa a 60 °C por 12 horas; luego de ello, se tomó 2,5 g de cada muestra en base seca por triplicado, disolviéndolo en 30 ml de agua destilada en un vaso precipitado de 100 ml. La suspensión se homogenizó con una varilla de vidrio, y se llevó a agitación en un agitador magnético por 30 min a 25 °C, y posteriormente se centrifugaron a (3000 rpm, a 25 °C, 15 min). Luego el sobrenadante se colocó en una placa Petri tarada y se secó a 80 °C durante 6 h. El precipitado retenido en los tubos se pesó en una balanza analítica.

El IAA se calculó mediante el cociente del peso del gel obtenido después de la separación del sobrenadante con respecto al peso de sólidos secos originales.

$$IAA = \frac{M_{rc}}{(M_a)}$$

Dónde:

IAA= Índice de absorción de agua (g gel/g muestra)

M_{rc}= Masa del residuo de centrifugación (g gel)

Ma = Masa de la muestra en base seca (g)

d) Índice de solubilidad de agua (ISA)

Para determinar el ISA, se relacionó el peso de los sólidos secos recobrados al evaporar el sobrenadante con respecto al peso original de la muestra.

$$ISA = \frac{M_{ss}}{M_a} \times 100$$

Dónde:

IAA= Índice de absorción de agua (%)

M_{ss}= Masa del sobrenadante seco (g)

M_a = Masa de la muestra en base seca (g)

e) Color instrumental

Los parámetros del perfil de color de la mezcla de los snacks extruidos se determinaron con el espectrofotómetro (Lovibond RT Colour V3.0) de reflexión diseñado para la evaluación objetiva del color en alimentos y productos industriales. Con la escala de color CIE L*a*b. Considerando: L* luminosidad (0 = negro y 100 = blanco), croma a* (+a = rojo, -a = verde) y croma b* (+b = amarillo y -b = azul), los cuales fueron necesarios para cuantificar de manera precisa los matices de claridad, tonalidad y saturación (Morales, 2014). Para ello se realizó el siguiente procedimiento.

- Se preparó la muestra realizando la molienda de los snacks para asegurar homogeneidad y ausencia de burbujas.
- Se encendió el instrumento y calibró con los estándares.
- Se seleccionó la escala de color deseado (CIELab*) y se definió la geometría de medición a 45°/0°.
- Se tomó una cantidad representativa de la muestra y se aplanó en una superficie relativamente plana.
- Se realizó la medición de color por triplicado, colocando la muestra bajo la cámara de medición, evitando superficies con brillo excesivo o reflejo directo que pueda alterar la lectura.

f) Textura instrumental

Condiciones de ensayo

- Texturómetro: CTX, Brookfield Ametek
- Celda de carga: 50kg
- Accesorio: Celda de Ottawa (TA-OC)
- Software: Texture Pro
- Variables: Hardness Cycle, Load at Target, 1st Fracture Load Drop Off, Hardness Work Cycle1.

procedimiento

Las pruebas se realizaron en un texturómetro CTX de la marca AMETEK Brookfield desarrollado por el laboratorio de Ofilab Perú S.A.C., el cual realizó lecturas de fuerza de compresión (N), % de deformación y crocancia. En donde los parámetros empleados fueron el valor objetivo: 35 mm, carga de disparo: 30 g y velocidad de lectura: 2 mm/s.

- Para el análisis fueron pesados 5 g de muestra y se colocó la celda de carga de 50 kg.
- Se registraron los valores de fuerza máxima de compresión (Peak Load) para el control y cada formulación
- Se agruparon los datos por formulación, se calcularon medias y desviaciones estándar.
- Se realizaron pruebas t independiente entre el control y cada formulación con suficientes réplicas.

ANEXO 2. FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE LOS SNACK EXTRUIDOS



FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



Nombre:.....

Edad:.....

Fecha:...../...../.....

Hora:.....

INSTRUCCIONES: Frente a usted se presentan 9 muestras de snack extruido tipo crocante a base de grits de maíz amarillo, harinas de quinua germinada y cushuro, por favor, pruebe cada una de ellas de acuerdo al orden y marque (X) su respuesta. Recuerde utilizar agua después de degustar cada muestra.

SENSORIALES	OPCIONES	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Color	Me gusta mucho									
	Me gusta									
	Me gusta moderadamente									
	Ni me gusta ni me disgusta									
	Me disgusta moderadamente									
	Me disgusta mucho									
Olor	Me gusta mucho									
	Me gusta									
	Me gusta moderadamente									
	Ni me gusta ni me disgusta									
	Me disgusta moderadamente									
	Me disgusta mucho									
Sabor	Me gusta mucho									
	Me gusta									
	Me gusta moderadamente									
	Ni me gusta ni me disgusta									
	Me disgusta moderadamente									
	Me disgusta mucho									
Textura	Me gusta mucho									
	Me gusta									
	Me gusta moderadamente									
	Ni me gusta ni me disgusta									
	Me disgusta moderadamente									
	Me disgusta mucho									
Aceptabilidad general	Me gusta mucho									
	Me gusta									
	Me gusta moderadamente									
	Ni me gusta ni me disgusta									
	Me disgusta moderadamente									
	Me disgusta mucho									

Observaciones:.....

**ANEXO 3. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS PARÁMETROS DEL COLOR
INSTRUMENTAL**

Tabla 70

*Análisis de varianza para el color Instrumental – parámetro L**

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	19,65	2	9,83	18,24	0,0028	significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	19,65	2	9,83	18,24	0,0028	
Residual	3,23	6	0,5389			
Cor Total	22,89	8				

Nota. ⁽¹⁾ La inferencia para mezclas lineales utiliza sumas de cuadrados de tipo I.

Tabla 71

*Análisis de varianza para el color instrumental – parámetro b**

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	1,98	2	0,9922	22,79	0,0016	significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	1,98	2	0,9922	22,79	0,0016	
Residual	0,2613	6	0,0435			
Cor Total	2,25	8				

Nota. ⁽¹⁾ La inferencia para mezclas lineales utiliza sumas de cuadrados de tipo I.

Tabla 72

*Análisis de varianza para el color instrumental – parámetro a**

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	13,32	2	6,66	63,74	< 0,0001	significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	13,32	2	6,66	63,74	< 0,0001	
Residual	0,6271	6	0,1045			
Cor Total	13,95	8				

Nota. ⁽¹⁾ La inferencia para mezclas lineales utiliza sumas de cuadrados de tipo I.

ANEXO 4. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA TEXTURA INSTRUMENTAL

Tabla 73

Análisis de varianza para la textura - parámetro (Hardness Cycle (N))

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	5178,31	2	2589,16	16,36	0,0037	Significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	5178,31	2	2589,16	16,36	0,0037	
Residual	949,79	6	158,30			
Cor Total	6128,10	8				

Nota. ⁽¹⁾ La inferencia para mezclas lineales utiliza sumas de cuadrados de tipo I.

Tabla 74

Análisis de varianza para la textura – parámetro (Load at Target (N))

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	Valor F	Valor p	
Modelo	5128,20	2	2564,10	14,40	0,0051	Significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	5128,20	2	2564,10	14,40	0,0051	
Residual	1068,66	6	178,11			
Cor Total	6196,86	8				

Nota. ⁽¹⁾ La inferencia para mezclas lineales utiliza sumas de cuadrados de tipo I.

Tabla 75

Análisis de varianza para la textura – parámetro (Fracture Load Drop Off (N))

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	6337,81	2	3168,91	3,79	0,0862	No significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	6337,81	2	3168,91	3,79	0,0862	
Residual	5014,59	6	835,76			
Cor Total	11352,40	8				

Nota. ⁽¹⁾ La inferencia para mezclas lineales utiliza sumas de cuadrados de tipo I.

Tabla 76

Análisis de varianza para la textura – (Hardness Work Cycle 1(J)).

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	Valor F	valor p	
Modelo	0,9698	2	0,4849	19,79	0,0023	Significativo
⁽¹⁾ Mezcla lineal	0,9698	2	0,4849	19,79	0,0023	
Residual	0,1470	6	0,0245			
Cor Total	1,12	8				

Nota. ⁽¹⁾ La inferencia para mezclas lineales utiliza sumas de cuadrados de tipo I.

ANEXO 5. VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES

Tabla 77

Variables del estudio, indicadores y unidades de medida

Variables	Indicador	Unidad	
Independientes	Grits de maíz amarillo	Proporción; máximo: 75,36%, mínimo: 56,52%	
	Harina de quinua germinada	Proporción; máximo: 18,84%, mínimo 9,42%	(%)
	Harina de cushuro	Proporción; máximo: 4,71%, mínimo: 1,88%	
Dependientes	Características Proximales	Humedad	
		Proteína	(%)
		Fibra cruda	
	Propiedades tecno funcionales	Índice de expansión (IE)	mm/mm
		Densidad aparente (DA)	g/cm ³
		Índice de absorción de Agua (IAA)	g gel /g muestra
		Índice de solubilidad de Agua (ISA)	(%)
		Textura instrumental	N
		Color instrumental	L*a*b
		Color	
Características sensoriales	Olor	Escala	
	Sabor	hedónica	
	Textura	7 puntos	
	Aceptabilidad general		

ANEXO 6. PANEL FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE QUINUA GERMINADA

Figura 41

Registro fotográfico del proceso de acondicionamiento de la quinua:

(a) Recepción de la materia prima (b) Lavado (c) Desinfección.



Figura 42

Registro fotográfico de la etapa de germinación de la quinua:

(a) Distribución en bandejas (b) Acomodo en el germinador (c) inicio del germinado



Figura 43

Registro fotográfico del monitoreo continuo de la germinación de la quinua

(a) 12 horas (b) 24 horas (c) 36 horas



Figura 44

Registro fotográfico del procesamiento de la quinua germinada:

(a) Secado (b) Molienda (c) Harina de quinua germinada.



ANEXO 7. PANEL FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE CUSHURO

Figura 45

Registro fotográfico del acondicionamiento del cushuro:

(a) *Recepción de la materia prima*

(b) *Selección*

(c) *Desinfección.*



Figura 46

Registro fotográfico del proceso de secado del cushuro:

(a) *Distribución del cushuro*

(b) *Secado en equipo*

(c) *Cushuro deshidratado.*



Figura 47

Registro fotográfico del proceso de obtención de harina de cushuro:

(a) *Equipo de molienda*

(b) *Molienda*

(c) *Harina de cushuro.*



ANEXO 8. PANEL FOTOGRÁFICO DE LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA

Figura 48

Registro fotográfico de la materia prima y determinación de humedad:

(a) Materias primas pulverizadas

(b) Análisis de humedad



Figura 49

Registro fotográfico de la determinación de extracto etéreo:

(a) Equipo Soxhlet

(b) Extracción en proceso.



Figura 50

Registro fotográfico de la determinación de proteína:

(a) Digestión

(c) Destilación

(d) Titulación.



ANEXO 9. RESULTADOS DE LABORATORIO DE LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA

EDNA LEÓN PALOMINO

BIOLOGO MICROBIOLOGO, DOCENTE FACULTAD DE
CIENCIAS BIOLÓGICAS - UNSCH

AYACUCHO PERU



SOLICITANTES; Bachiller Elizabeth Quispe Roiro-Vanessa A. Quispe Conde.

ANÁLISIS; proteína, extracto etéreo y fibra cruda

CONSTANCIA

Que los resultados obtenidos en muestras de grits de maíz (GM), harina de quinua germinada (HQG), harina de quinua (HQ) y harina de cushuro (HC).

ENSAYOS FÍSICO/QUÍMICOS

Muestra	% Proteína	% Extracto etéreo	% Fibra cruda
GM	6,50	3,98	0,85
HQG	13,68	7,05	4,5
HQ	12,47	5,12	3,21
HC	30,18	0,50	0,89

Método del AOAC, 1980.

Se otorga la constancia a petición del interesado,

Ayacucho, Julio del 2025

Dra., Edna León Palomino

Colegio de Biólogo N° 1001

ANEXO 10. FICHA TÉCNICA DEL CUSHURO DESHIDRATADO

	<h3 style="margin: 0;">FICHA TECNICA DE CUSHURO DESHIDRATADO</h3>		Fecha de vigencia: 01/06/2025
Nombre: cushuro, murmunta o llullucha (<i>Nostoc sphaericum</i>)			Codigo: IF-0018

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

A. IDENTIFICACION Y PROCEDENCIA	
El cushuro es cianobacteria cuyas colonias crecen en las lagunas, bofedales y charcos de los Andes; es un alga esférica gelatinosa que contiene proteína, vitaminas, minerales, hierro, calcio, etc.	
Procedencia	Zona altoandina del Perú, lagunas de la zona altoandina de la cadena montañosa de los andes.
Temporada	La temporada de mayor cosecha (época de lluvias) es desde diciembre a abril
Nombre científico	Genero: Nostoc Variedades: Nostoc sphaericum, nostoc commune.
Nombre comercial	Cushuro
Forma	Circular, de diverso tamaño, desde gránulos pequeños a grandes, acorde a la especie.
Color	Acorde a la especie y a la tierra, puede variar desde el verde petróleo al amarillo oscuro.
Composición	100% cushuro
Materia prima	Cushuro de reciente cosecha, de textura firme y dura. Preferentemente recolectada en limpio (técnica de recojo donde se escogen espacios preferentemente donde no hay contacto con pastos o tierra contaminada por animales) Transportada en baldes con poca agua, por cada 15 kilos, 8 a 10 litros de agua. Para conservar la fibra y dureza del alga.
Presentación	Producto deshidratado, grado alimentario. No contiene aditivos, conservantes, preservantes, endulzantes ni colorantes. Libre de Modificación Genética. Entregado en gránulos deshidratados o polvo.

II. Tabla nutricional

- Respecto de las propiedades, referimos que:

Composición Nutricional del Cushuro Deshidratado	
Componente	Por 100gr
Proteína (g)	29
Grasa (g)	0.5
Fibra cruda (g)	0.91
Carbohidratos (g)	46.9
Kilocalorías (g)	242
Calcio (mg/100g)	47.43
Hierro (mg/100g)	83.63

** de fácil digestión y nutrientes de mayor disponibilidad para el cuerpo*

III. ACEPTACION DEL PRODUCTO

CARACTERISTICAS ORGANOLÉPTICAS DEL CUSHURO DESHIDRATADO

Producto	Aceptación	Rechaza
Cushuro	<ul style="list-style-type: none">Color: Verde a verde petróleo.Textura: Crujiente si es en láminasOlor: a alga marinaReferencia: Sabor a alga (sabor referente al furikake)	<ul style="list-style-type: none">Alta humedad

IV. CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS DEL CUSHURO DESHIDRATADO

DETERMINACION	PARAMETRO	Metodología
Tamaño de molido	350um	Regla milimétrica
Humedad	6%	Balanza de infrarrojos
PH (nivel de acidez)	5.6	PH-metro

V. OTROS

DETERMINACION	DETALLE
Usos	Inclusión directa en: barras nutricionales, batidos, gastronomía, mezclas anti anémicas, etc. De consumo directo.
Presentaciones	Empaquetado en bolsas de polietileno o a granel en cualesquiera presentaciones. De acuerdo al requerimiento del cliente. Se prefiere el uso de Doypack trilaminado.
Vida útil	3 años en condiciones adecuadas de almacenamiento (empaquetado que limite la entrada de oxígeno, espacios secos, con baja humedad relativa)
Almacenamiento	Lugar de aromas neutros, fuera del calor, temperatura ambiente y donde no le lleguen directos al sol.

ANEXO 11. FICHA TÉCNICA DEL GRITS DE MAÍZ

	FICHA TECNICA DEL PRODUCTO	Código: FOR-CAL-COR-025 Fecha: 06/01/2025 Versión: 03 Página: 1 DE 1
---	-----------------------------------	---

Nombre:	Grits de maíz fino nacional					
Descripción:	Producto proveniente de la molienda seca del maíz amarillo duro; el cual es descascarado, desgerminado y molido. También conocido como sémola de maíz o polenta de maíz.					
Composición:	100% maíz amarillo duro nacional					
Criterios sensoriales						
Color	Amarillo pálido					
Olor	Libre de olores a moho, agroquímicos, fermento o cualquier otro olor que se considere objetable.					
Aspecto	Granulado					
Criterios físico - químicos:			Granulometría			
Humedad	Max. 13.5%	Malla #14	Min. 95%			
Ceniza	Max. 1%	Aflatoxina	Max. 20 ppb			
Grasa	Max. 2 %	Fumonisina	Max. 2000 ppb			
Fibra	Max. 1%	Materias extrañas	Ausencia			
Proteína N*6.25	Min. 7 %	Impurezas propias del maíz	Max. 1%			
		Piedras	Ausencia			
Criterios microbiológicos:						
Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Limite por g	
					m	M
Mohos	2	3	5	2	10 ⁴	10 ³
Escherichia coli	5	3	5	2	10	10 ²
Bacillus cereus	7	3	5	2	10 ³	10 ⁴
Salmonella sp	10	2	5	0	Ausencia/25g	---
*RM 591-2008/MINSA						
Uso, envases y almacenamiento:						
Uso:	Destinado como insumo para la industria alimentaria.					
Envase:	Sacos de polipropileno blanco					
Rotulado:	En el envase va el nombre del producto, el peso neto, la fecha de producción, la fecha de vencimiento, el número de lote y/o batch y la dirección. NTP- Etiquetado.					
Presentación:	Sacos de 25 Kg					
Almacenamiento:	Debe mantenerse en un lugar limpio, fresco y seco, sobre parihuelas.					
Vida útil:	6 meses en las condiciones de almacenamiento mencionadas.					

ANEXO 12. PANEL FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL SNACK EXTRUIDO

Figura 51

Registro fotográfico del proceso de pesado de la materia prima:

(a) Pesado de insumos (b) Porcionado de muestras (c) Materia prima pesada.



Figura 52

Registro fotográfico del proceso de acondicionamiento y mezclado:

(a) Dosificación de materia prima (b) Incorporación de agua (c) Mezcla de ingredientes



Figura 53

Registro fotográfico del proceso de extrusión y enfriamiento:

(a) Alimentación al extrusor (b) Proceso de extrusión (c) Enfriamiento del producto.



Figura 54

Registro fotográfico del proceso de almacenamiento:

(a) Envasado del producto (b) Producto extruido (c) Almacenamiento final.



ANEXO 13. PANEL FOTOGRÁFICO DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS A LAS NUEVE FORMULACIONES

Figura 55

Registro fotográfico de los ensayos de humedad y ceniza:

(a) Muestras para análisis

(b) Pesaje de muestras



(c) Secado en estufa

(d) Determinación de cenizas.



Figura 56

Registro fotográfico de las muestras remitidas al laboratorio Molina Calidad Total para análisis fisicoquímicos



ANEXO 14. INFORMES DE ENSAYO DE ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS MUESTRAS DE SNACKS EXTRUIDOS

Informe de ensayo N.º 01. Análisis proximal de la muestra T₁



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

Nº 002823 - 2025

SOLICITANTE	: QUISPE CONDE VANESSA ALEXANDRA
DIRECCIÓN LEGAL	: ASOC. LOS OVILOS, JR. SAPO SOA MZ E2 LT11 DNI: 72500977 Teléfono: ---
PRODUCTO	: SNACK EXTRUIDO TIPO CROCANTE A BASE DE GRITS DE MAÍZ AMARILLO (ZEA MAYZ L), HARINAS DE QUINUA GERMINADA (CHENOPODIUM QUINOA WILL.) Y CUSHURO (NOSTOC SPHAERICUM)
NÚMERO DE MUESTRAS	: Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA	: UNSCH-T1-ELVA25
CANTIDAD RECIBIDA	: 318,5 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S)	: S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN	: A Granel, la muestra ingresa en bolsa ziploc cerrada.
SOLICITUD DE SERVICIOS	: S/S N°EN-001935 -2025
REFERENCIA	: VIA EMAIL
FECHA DE RECEPCIÓN	: 08/09/2025
ENSAYOS SOLICITADOS	: FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA	: No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Grasa (g/100 g de muestra original)	0,8	0,81	0,80
2.- Proteína Cruda (g/100 g de muestra original) (Factor:6,25)	10,64	10,97	10,30
3.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	0,8	0,83	0,82

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- 1.- AOAC 920.39 Cap. 4, Pág. 40, 21st Edition 2019
- 2.- AOAC 954.01 Cap. 4, Pág. 24, 21st Edition 2019
- 3.- NTP 205.003:1980 (Revisada el 2011)

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS: Del 09/09/2025 Al 19/09/2025.

ADVERTENCIA:

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM son responsabilidad del Solicitante.
- 2.- La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM es responsable de toda la información suministrada en el informe de ensayos, excepto la información suministrada por el solicitante que pueda o no afectar a la validez de los resultados.
- 3.- Los resultados se aplican únicamente a la muestra recibida. No es un Certificado de Conformidad, ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin autorización de La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM.

La Molina, 19 de Setiembre de 2025




LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS-UNALM


 Biot. Lourdes Margarita Barco Saldaña
 Directora Técnica (e)
 CBP - N° 01232

Pág. 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
 Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322

E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

 la molina calidad total

Informe de ensayo N.º 02. Análisis proximal de la muestra T₂



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

Nº 002824 - 2025

SOLICITANTE : QUISPE CONDE VANESSA ALEXANDRA
DIRECCIÓN LEGAL : ASOC. LOS OVILOS, JR. SAPO SOA MZ E2 LT11
DNI: 72500977 Teléfono: ---
PRODUCTO : SNACK EXTRUIDO TIPO CROCANTE A BASE DE GRITS DE MAÍZ
AMARILLO (ZEA MAYZ L), HARINAS DE QUINUA GERMINADA
(CHENOPODIUM QUINOA WILL.) Y CUSHURO (NOSTOC SPHAERICUM)
NUMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA : UNSCH-T2-ELVA25
CANTIDAD RECIBIDA : 304,3 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : A Granel, la muestra ingresa en bolsa ziploc cerrada.
SOLICITUD DE SERVICIOS : S/S N°EN-001934 -2025
REFERENCIA : VIA EMAIL
FECHA DE RECEPCIÓN : 08/09/2025
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Grasa (g/100 g de muestra original)	1,0	1,00	1,01
2.- Proteína Cruda (g/100 g de muestra original) (Factor:6,25)	9,8	9,87	9,79
3.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	0,5	0,51	0,43

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- 1.- AOAC 920.39 Cap. 4, Pág. 40, 21st Edition 2019
- 2.- AOAC 954.01 Cap. 4, Pág. 24, 21st Edition 2019
- 3.- NTP 205.003:1980 (Revisada el 2011)

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 09/09/2025 Al 19/09/2025.

ADVERTENCIA:

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM son responsabilidad del Solicitante.
- 2.- La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM es responsable de toda la información suministrada en el informe de ensayos, excepto la información suministrada por el solicitante que pueda o no afectar a la validez de los resultados.
- 3.- Los resultados se aplican únicamente a la muestra recibida. No es un Certificado de Conformidad, ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin autorización de La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM.

La Molina, 19 de Setiembre de 2025



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM

Lourdes Marganita Barco Saldaña
Biol. Lourdes Marganita Barco Saldaña
Directora Técnica (e)
CBP - N° 01232

Pág. 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322

E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

la molina calidad total

Informe de ensayo N.º 03. Análisis proximal de la muestra T₃



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

Nº 002825 - 2025

SOLICITANTE : QUISPE CONDE VANESSA ALEXANDRA
DIRECCIÓN LEGAL : ASOC. LOS OVILOS, JR. SAPO SOA MZ E2 LT11
 DNI: 72500977 Teléfono: ---
PRODUCTO : SNACK EXTRUIDO TIPO CROCANTE A BASE DE GRITS DE MAÍZ
 AMARILLO (ZEA MAYZ L), HARINAS DE QUINUA GERMINADA
 (CHENOPODIUM QUINOA WILL.) Y CUSHURO (NOSTOC SPHAERICUM)
NUMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA : UNSCH-T3-ELVA25
CANTIDAD RECIBIDA : 305,9 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : A Granel, la muestra ingresa en bolsa ziploc cerrada.
SOLICITUD DE SERVICIOS : S/S N°EN-001933 -2025
REFERENCIA : VIA EMAIL
FECHA DE RECEPCIÓN : 08/09/2025
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Grasa (g/100 g de muestra original)	1,0	1,04	1,02
2.- Proteína Cruda (g/100 g de muestra original) (Factor:6.25)	9,9	9,83	9,90
3.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	0,5	0,47	0,52

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- 1.- AOAC 920.39 Cap. 4, Pág. 40, 21st Edition 2019
- 2.- AOAC 954.01 Cap. 4, Pág. 24, 21st Edition 2019
- 3.- NTP 205.003:1980 (Revisada el 2011)

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 09/09/2025 Al 19/09/2025.

ADVERTENCIA:

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM son responsabilidad del Solicitante.
- 2.- La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM es responsable de toda la información suministrada en el informe de ensayos, excepto la información suministrada por el solicitante que pueda o no afectar a la validez de los resultados.
- 3.- Los resultados se aplican únicamente a la muestra recibida. No es un Certificado de Conformidad, ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin autorización de La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM.

La Molina, 19 de Setiembre de 2025



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM

Lourdes Barco

Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña
 Directora Técnica (e)
 CBP - N° 01232

Pág. 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
 Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322

E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

la molina calidad total

Informe de ensayo N.º 04. Análisis proximal de la muestra T₄



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

Nº 002803 - 2025

SOLICITANTE : QUISPE CONDE VANESSA ALEXANDRA
DIRECCIÓN LEGAL : ASOC. LOS OVILOS, JR. SAPO SOA MZ E2 LT11
DNI: 72500977 Teléfono: ---
PRODUCTO : SNACK EXTRUIDO TIPO CROCANTE A BASE DE GRITS DE MAÍZ AMARILLO (ZEA MAYZ L), HARINAS DE QUINUA GERMINADA (CHENOPODIUM QUINOA WILL.) Y CUSHURO (NOSTOC SPHAERICUM)
NUMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA : UNSCH-T4-ELVA25
CANTIDAD RECIBIDA : 340,3 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : A Granel, la muestra ingresa en bolsa ziploc cerrada.
SOLICITUD DE SERVICIOS : S/S N°EN-001932 -2025
REFERENCIA : VIA EMAIL
FECHA DE RECEPCIÓN : 08/09/2025
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Grasa (g/100 g de muestra original)	0,9	0,94	0,93
2.- Proteína Cruda (g/100 g de muestra original) (Factor 6,25)	10,4	10,46	10,41
3.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	0,5	0,51	0,52

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:
1.- AOAC 920.39 Cap. 4, Pág. 40, 21st Edition 2019
2.- AOAC 954.01 Cap. 4, Pág. 24, 21st Edition 2019
3.- NTP 205.003:1980 (Revisada el 2011)

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 09/09/2025 Al 18/09/2025.

ADVERTENCIA:

- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM son responsabilidad del Solicitante.
- La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM es responsable de toda la información suministrada en el informe de ensayos, excepto la información suministrada por el solicitante que pueda o no afectar a la validez de los resultados.
- Los resultados se aplican únicamente a la muestra recibida. No es un Certificado de Conformidad, ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin autorización de La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM.

La Molina, 18 de Setiembre de 2025



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS-UNALM

Lourdes Barco
Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña
Directora Técnica (e)
CBP - N° 01232

Pág. 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322

E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

la molina calidad total

Informe de ensayo N.º 05. Análisis proximal de la muestra T₅



**LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

Nº 002802 - 2025

SOLICITANTE : QUISPE CONDE VANESSA ALEXANDRA
DIRECCIÓN LEGAL : ASOC. LOS OVILOS, JR. SAPO SOA MZ E2 LT11
 DNI: 72500977 Teléfono: ---
PRODUCTO : SNACK EXTRUIDO TIPO CROCANTE A PASE DE GRITS DE MAÍZ
 AMARILLO (ZEA MAYZ L), HARINAS DE QUINUA GERMINADA
 (CHENOPODIUM QUINOA WILL.) Y CUSHURO (NOSTOC SPHAERICUM)
NUMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA : UNSCH-T5-ELVA25
CANTIDAD RECIBIDA : 317,6 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : A Granel, la muestra ingresa en bolsa ziploc cerrada.
SOLICITUD DE SERVICIOS : S/S N°EN-001931 -2025
REFERENCIA : VIA EMAIL
FECHA DE RECEPCIÓN : 08/09/2025
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Grasa (g/100 g de muestra original)	1,0	1,03	1,01
2.- Proteína Cruda (g/100 g de muestra original) (Factor:6,25)	10,2	10,20	10,25
3.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	0,7	0,75	0,67

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:
 1.- AOAC 920.39 Cap. 4, Pág. 40, 21st Edition 2019
 2.- AOAC 954.01 Cap. 4, Pág. 24, 21st Edition 2019
 3.- NTP 205.003:1980 (Revisada el 2011)

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS: Del 09/09/2025 Al 18/09/2025.

ADVERTENCIA:

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM son responsabilidad del Solicitante.
- 2.- La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM es responsable de toda la información suministrada en el informe de ensayos, excepto la información suministrada por el solicitante que pueda o no afectar a la validez de los resultados.
- 3.- Los resultados se aplican únicamente a la muestra recibida. No es un Certificado de Conformidad, ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin autorización de La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM.

La Molina, 18 de Setiembre de 2025



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS- UNALM

Lourdes Margara Barco Saldaña
 Biol. Lourdes Margara Barco Saldaña
 Directora Técnica (e)
 CBP - N° 01232

Pág. 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
 Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322

E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

la molina calidad total

Informe de ensayo N.º 06. Análisis proximal de la muestra T₆



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

Nº 002801 - 2025

SOLICITANTE : QUISPE CONDE VANESSA ALEXANDRA
DIRECCIÓN LEGAL : ASOC. LOS OVILOS, JR. SAPO SOA MZ E2 LT11
 DNI: 72500977 Teléfono: ---
PRODUCTO : SNACK EXTRUIDO TIPO CROCANTE A BASE DE GRITS DE MAÍZ
 AMARILLO (ZEA MAYZ L), HARINAS DE QUINUA GERMINADA
 (CHENOPODIUM QUINOA WILL.) Y CUSHURO (NOSTOC SPHAERICUM)
NUMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA : UNSCH-T6-ELVA25
CANTIDAD RECIBIDA : 324,7 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : A Granel, la muestra ingresa en bolsa ziploc cerrada.
SOLICITUD DE SERVICIOS : S/S N°EN-001930 -2025
REFERENCIA : VIA EMAIL
FECHA DE RECEPCIÓN : 08/09/2025
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Grasa (g/100 g de muestra original)	1,1	1,06	1,05
2.- Proteína Cruda (g/100 g de muestra original) (Factor:6,25)	10,5	10,54	10,49
3.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	0,7	0,72	0,76

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- 1.- AOAC 920.39 Cap. 4, Pág. 40, 21st Edition 2019
- 2.- AOAC 954.01 Cap. 4, Pág. 24, 21st Edition 2019
- 3.- NTP 205.003:1980 (Revisada el 2011)

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 09/09/2025 Al 18/09/2025.

ADVERTENCIA:

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM son responsabilidad del Solicitante.
- 2.- La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM es responsable de toda la información suministrada en el informe de ensayos, excepto la información suministrada por el solicitante que pueda o no afectar a la validez de los resultados.
- 3.- Los resultados se aplican únicamente a la muestra recibida. No es un Certificado de Conformidad, ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin autorización de La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM.

La Molina, 18 de Setiembre de 2025



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS-UNALM

Margarita Barco Saldaña
 Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña
 Directora Técnica (e)
 CBP - N° 01232

Pág. 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
 Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322

E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

la molina calidad total

Informe de ensayo N.º 07. Análisis proximal de la muestra T7



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

Nº 002800 - 2025

SOLICITANTE : QUISPE CONDE VANESSA ALEXANDRA
DIRECCIÓN LEGAL : ASOC. LOS OVILOS, JR. SAPO SOA MZ E2 LT11
 DNI: 72500977 Teléfono: ---
PRODUCTO : SNACK EXTRUIDO TIPO CROCANTE A BASE DE GRITS DE MAÍZ
 AMARILLO (ZEA MAYZ L), HARINAS DE QUINUA GERMINADA
 (CHENOPODIUM QUINOA WILL.) Y CUSHURO (NOSTOC SPHAERICUM)
NUMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA : UNSCH-T7-ELVA25
CANTIDAD RECIBIDA : 344 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : A Granel, la muestra ingresa en bolsa ziploc cerrada.
SOLICITUD DE SERVICIOS : S/S N°EN-001929 -2025
REFERENCIA : VIA EMAIL
FECHA DE RECEPCIÓN : 08/09/2025
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Grasa (g/100 g de muestra original)	1,3	1,33	1,34
2.- Proteína Cruda (g/100 g de muestra original) (Factor:6,25)	10,0	10,01	9,99
3.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	0,6	0,54	0,56

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:
 1.- AOAC 920.39 Cap. 4, Pág. 40, 21st Edition 2019
 2.- AOAC 954.01 Cap. 4, Pág. 24, 21st Edition 2019
 3.- NTP 205.003:1980 (Revisada el 2011)

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 09/09/2025 Al 18/09/2025.

ADVERTENCIA:

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM son responsabilidad del Solicitante.
- 2.- La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM es responsable de toda la información suministrada en el informe de ensayos, excepto la información suministrada por el solicitante que pueda o no afectar a la validez de los resultados.
- 3.- Los resultados se aplican únicamente a la muestra recibida. No es un Certificado de Conformidad, ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin autorización de La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM.

La Molina, 18 de Setiembre de 2025



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS-UNALM

Loirdes Margari
 Biol. Lourdes Margari Barco Saldaña
 Directora Técnica (e)
 CBP - N° 01232

Pág. 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
 Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322

E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

la molina calidad total

Informe de ensayo N.º 08. Análisis proximal de la muestra T₈



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

Nº 002799 - 2025

SOLICITANTE : QUISPE CONDE VANESSA ALEXANDRA
DIRECCIÓN LEGAL : ASOC. LOS OVILLOS, JR. SAPO SOA MZ E2 LT11
 DNI: 72500977 Teléfono: ---
PRODUCTO : SNACK EXTRUIDO TIPO CROCANTE A BASE DE GRITS DE MÁIZ AMARILLO (ZEA MAYZ L), HARINAS DE QUINUA GERMINADA (CHENOPODIUM QUINOA WILL.) Y CUSHURO (NOSTOC SPHAERICUM)
NÚMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA : UNSCH-T8-ELVA25
CANTIDAD RECIBIDA : 301,4 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : A Granel, la muestra ingresa en bolsa ziploc cerrada.
SOLICITUD DE SERVICIOS : S/S N°EN-001928 -2025
REFERENCIA : VIA EMAIL
FECHA DE RECEPCIÓN : 08/09/2025
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Grasa (g/100 g de muestra original)	1,0	0,99	0,98
2.- Proteína Cruda (g/100 g de muestra original) (Factor:6,25)	10,3	10,28	10,29
3.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	0,5	0,41	0,56

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- 1.- AOAC 920.39 Cap. 4, Pág. 40, 21st Edition 2019
- 2.- AOAC 954.01 Cap. 4, Pág. 24, 21st Edition 2019
- 3.- NTP 205.003:1980 (Revisada el 2011)

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 09/09/2025 Al 18/09/2025.

ADVERTENCIA:

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM son responsabilidad del Solicitante.
- 2.- La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM es responsable de toda la información suministrada en el informe de ensayos, excepto la información suministrada por el solicitante que pueda o no afectar a la validez de los resultados.
- 3.- Los resultados se aplican únicamente a la muestra recibida. No es un Certificado de Conformidad, ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin autorización de La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM.

La Molina, 18 de Setiembre de 2025



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM

Lourdes Barco
 Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña
 Directora Técnica (e)
 CBP - N° 01232

Pág. 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
 Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322

E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

la molina calidad total

Informe de ensayo N.º 09. Análisis proximal de la muestra T₉



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

Nº 002798 - 2025

SOLICITANTE : QUISPE CONDE VANESSA ALEXANDRA
DIRECCIÓN LEGAL : ASOC. LOS OVILOS, JR. SAPO SOA MZ E2 LT11
DNI: 72500977 Teléfono: ---

PRODUCTO : SNACK EXTRUIDO TIPO CROCANTE A BASE DE GRITS DE MÁIZ AMARILLO (ZEA MAYZ L), HARINAS DE QUINUA GERMINADA (CHENOPODIUM QUINOA WILL.) Y CUSHURO (NOSTOC SPHAERICUM)

NUMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA : UNSCH-T9-ELVA25
CANTIDAD RECIBIDA : 290,7 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : A Granel, la muestra ingresa en bolsa ziploc cerrada.
SOLICITUD DE SERVICIOS : S/S N°EN-001927 -2025
REFERENCIA : VIA EMAIL
FECHA DE RECEPCIÓN : 08/09/2025
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Grasa (g/100 g de muestra original)	1,1	1,14	1,12
2.- Proteína Cruda (g/100 g de muestra original) (Factor:6,25)	10,4	10,42	10,33
3.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	0,7	0,62	0,73

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- 1.- AOAC 920.39 Cap. 4, Pág. 40, 21st Edition 2019
- 2.- AOAC 954.01 Cap. 4, Pág. 24, 21st Edition 2019
- 3.- NTP 205.003:1980 (Revisada el 2011)

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 09/09/2025 Al 18/09/2025.

ADVERTENCIA:

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM son responsabilidad del Solicitante.
- 2.- La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM es responsable de toda la información suministrada en el informe de ensayos, excepto la información suministrada por el solicitante que pueda o no afectar a la validez de los resultados.
- 3.- Los resultados se aplican únicamente a la muestra recibida. No es un Certificado de Conformidad, ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin autorización de La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM.

La Molina, 18 de Setiembre de 2025



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS-UNALM

Lourdes Barco
Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña
Directora Técnica (e)
CBP - N° 01232

Pág. 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322

E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

la molina calidad total

ANEXO 15. PANEL FOTOGRÁFICO DE LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TECNOFUNCIONAL A LOS SNACKS

Foto 57

Registro fotográfico de la determinación del índice de expansión y densidad aparente:

(a) Selección de muestras (b) Medición del diámetro (c) Medición con longitud



Foto 58

Registro fotográfico de la determinación del índice de absorción de agua:

(a) Secado de muestras (b) Muestras molidas (c) Preparación de suspensión



(d) homogeneización (e) Centrifugación de la muestra (f) Gel obtenido .



Figura 59

Registro fotográfico para la determinación del índice de solubilidad de agua

a) Muestras preparadas

b) Secado en horno

c) Resultado de la solubilidad



Figura 60

Registro fotográfico del proceso de medición del color instrumental

a) Muestras extruidas molidas

b) Medición en colorímetro

c) Lectura en el programa



Figura 61

Muestras analizadas para el color mediante el colorímetro

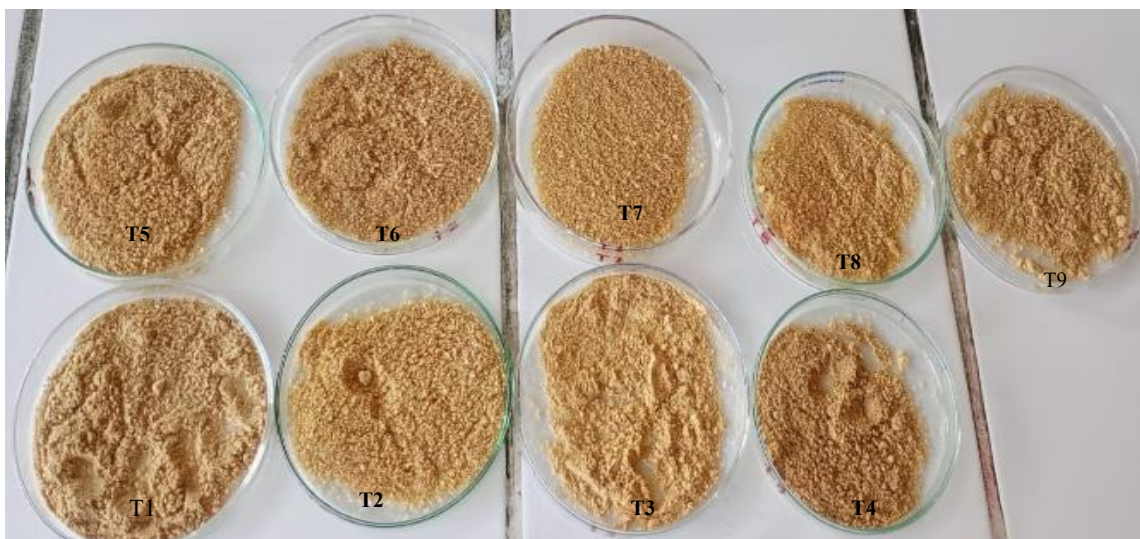


Figura 62

Aspecto visual de los snacks extruidos enteros



Figura 63

Registro fotográfico del procedimiento para la determinación de la textura instrumental

a) Pesado de muestra b) Configuración del texturómetro c) Medición instrumental



**ANEXO 16. REPORTE DE ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA
INSTRUMENTAL DE LAS MUESTRAS DE SNACKS EXTRUIDOS**



PRECISIÓN & TECNOLOGÍA a su servicio

**REPORTE DE ENSAYO
001-009-RE-OFILAB-25**

1. SOLICITANTE

Razón Social : Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

2. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Producto : Snack extruido tipo crocante a base de grits de maíz amarillo (*Zea mays* L.), harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) germinada y cushuro (*Nostoc sphaericum*)

Marca : Sin marca

Cantidad de muestra : 9 formulaciones (De 5 a 10 muestras de cada Formulación (T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7,T8,T9))

Serie : Sin serie.

Lote

Lugar de ensayo:

Laboratorio – Instalaciones de Ofilab Perú S.A.C

Fecha de ensayo

12/09/2025

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL PRESENTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE OFILAB PERU S.A.C. PERU SAC



TEL: (01) 586-6400 CEL.:981555342
Jr. Libertad 833 N° 835 - Comas
E-mail: dpto.ingenieria@ofilab.com.pe Web: www.ofilab.com.pe

RESULTADOS

Muestra	Hardness Cycle (N)	Load at Target (N)	1st Fracture Load Drop Off (N)	Hardness Work Cycle 1 (J)
T1	260.66 ± 24.18	256.14 ± 23.49	157.29 ± 125.82	4.27 ± 0.27
T2	179.51 ± 15.32	177.81 ± 15.72	74.77 ± 92.96	2.98 ± 0.28
T3	238.08 ± 24.18	234.60 ± 17.82	120.07 ± 19.21	3.87 ± 0.29
T4	202.23 ± 19.45	198.28 ± 18.70	102.29 ± 107.12	3.47 ± 0.43
T5	216.26 ± 28.47	209.32 ± 32.18	150.94 ± 105.02	3.61 ± 0.39
T6	263.83 ± 16.79	263.00 ± 36.92	190.83 ± 134.28	4.03 ± 0.55
T7	205.87 ± 16.28	201.23 ± 17.94	116.30 ± 116.30	3.44 ± 0.26
T8	214.55 ± 30.47	212.59 ± 31.85	176.02 ± 96.53	3.58 ± 0.59
T9	212.91 ± 22.66	210.79 ± 23.27	111.40 ± 116.30	3.55 ± 0.42

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL PRESENTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE OFILAB PERÚ S.A. PERÚ SAC



TELF.: (01) 586-6400 CEL.:981555342
Jr. Libertad 833 N° 835 - Comas
E-mail: dpto.ingenieria@ofilab.com.pe Web: www.ofilab.com.pe

ANEXO 17. PANEL FOTOGRÁFICO DEL ANÁLISIS SENSORIAL

Figura 64

Registro fotográfico de la aplicación de la prueba de aceptabilidad sensorial del snack extruido

a) Preparación de muestras b) Instrucciones a panelistas c) Aplicación de evaluación



d) Recepción de participantes e) Llenado de fichas f) Análisis hedónico



ANEXO 18. RESULTADOS DEL ANALISIS SENSORIAL DEL SNACK ESTRUIDO

Tabla 78

Puntuaciones para la evaluación sensorial del atributo color

PANELISTAS	COLOR								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	6	4	6	3	5	7	7	5	7
2	5	5	5	5	5	5	5	6	6
3	6	6	5	5	6	6	6	6	5
4	2	2	2	4	4	4	5	5	4
5	2	6	3	7	6	7	7	7	7
6	5	5	5	6	6	6	6	6	6
7	4	5	4	1	3	4	3	5	5
8	5	4	5	3	6	4	3	4	4
9	5	5	6	4	5	6	6	5	7
10	3	4	4	4	2	3	4	5	5
11	3	4	4	5	6	5	5	5	6
12	2	4	4	2	5	4	2	2	6
13	6	6	5	3	6	5	5	4	5
14	4	5	5	4	5	4	4	4	4
15	6	5	7	6	5	6	6	5	7
16	4	6	6	3	5	5	6	6	4
17	3	5	5	3	3	3	2	1	4
18	6	6	7	7	7	7	7	7	7
19	5	5	3	5	5	5	4	5	5
20	5	5	5	5	5	5	5	5	5
21	5	6	4	5	4	4	4	4	4
22	6	6	5	5	2	5	6	5	5
23	6	6	6	6	6	6	6	7	6
24	6	5	6	4	7	6	6	6	5
25	6	6	7	5	6	7	6	6	7
26	3	5	5	5	5	5	6	5	5
27	5	5	6	6	6	6	6	6	6
28	5	5	5	6	6	6	5	6	6
29	5	5	6	6	6	5	6	6	3
30	5	5	5	6	5	5	6	7	7
PROM.	4,63	5,03	5,03	4,63	4,97	4,97	5,07	5,13	5,43

Tabla 79*Puntuaciones para la evaluación sensorial del atributo olor*

OLOR									
PANELISTAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	4	6	4	3	5	5	7	7	7
2	4	4	4	4	4	4	4	4	7
3	3	6	6	5	5	5	4	5	5
4	2	4	4	3	4	5	2	4	5
5	2	6	6	5	4	7	7	7	7
6	6	5	6	6	6	6	7	7	7
7	3	4	4	2	4	5	4	4	5
8	4	4	5	4	5	5	4	4	5
9	6	6	5	4	4	6	6	5	7
10	4	4	5	4	4	5	5	3	6
11	3	5	6	6	6	6	6	6	6
12	4	4	5	5	4	4	4	5	4
13	6	5	6	6	7	6	6	4	5
14	5	4	4	5	5	4	5	5	4
15	6	6	6	7	6	6	7	6	7
16	5	6	6	5	6	4	6	5	5
17	5	4	5	5	4	3	2	2	5
18	4	5	5	4	5	5	5	5	5
19	3	3	4	4	4	4	4	4	4
20	4	4	4	4	4	4	4	4	4
21	4	6	5	6	4	4	4	3	3
22	3	3	3	4	2	3	6	5	5
23	6	6	6	5	5	4	5	6	6
24	4	4	6	4	6	5	3	7	6
25	6	6	7	6	6	7	6	6	7
26	6	6	4	4	6	6	6	6	6
27	6	6	6	6	6	6	6	6	6
28	6	5	6	6	6	5	5	6	6
29	4	6	6	4	6	4	6	6	3
30	5	5	5	5	6	6	6	7	7
PROM.	4,43	4,93	5,13	4,7	4,97	4,97	5,1	5,13	5,50

Tabla 80*Puntuaciones para la evaluación sensorial del atributo sabor*

SABOR									
PANELISTAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	3	5	5	3	3	6	6	6	7
2	6	6	5	5	7	7	7	6	6
3	2	6	6	5	6	5	2	6	4
4	4	6	5	4	4	4	3	5	6
5	3	5	6	3	6	4	7	7	7
6	6	5	6	6	6	6	7	7	7
7	5	4	3	2	3	4	5	5	5
8	5	6	7	6	3	6	5	3	6
9	6	6	5	4	3	6	6	2	7
10	4	5	5	5	5	3	5	6	6
11	5	6	6	6	5	3	5	3	6
12	4	4	5	4	4	3	4	3	5
13	5	6	5	5	7	7	6	4	5
14	3	3	6	5	4	3	5	5	5
15	6	7	6	6	7	6	6	7	6
16	3	7	6	6	6	3	5	6	5
17	4	3	4	5	6	5	6	1	6
18	6	6	7	6	7	7	7	7	6
19	3	3	4	5	5	2	2	5	5
20	5	5	5	5	6	6	6	7	5
21	5	6	4	3	5	3	5	5	5
22	6	6	2	6	2	6	6	7	5
23	7	6	6	7	7	3	6	7	5
24	6	6	5	3	7	6	5	6	7
25	6	6	2	5	6	7	6	4	7
26	6	6	7	5	3	6	6	5	7
27	6	6	6	5	5	6	6	7	6
28	5	3	6	6	6	3	5	6	6
29	3	5	6	7	4	4	7	4	5
30	6	6	6	5	3	6	6	7	5
PROM.	4,80	5,33	5,23	4,93	5,03	4,87	5,43	5,30	5,77

Tabla 81*Puntuaciones para la evaluación sensorial del atributo textura*

TEXTURA									
PANELISTAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	5	6	3	5	5	6	6	3	6
2	4	6	4	6	6	6	6	6	6
3	6	6	6	6	6	6	6	5	4
4	4	5	5	3	4	4	7	5	5
5	2	7	7	5	7	7	7	6	7
6	6	7	6	6	7	7	7	6	7
7	4	6	3	3	6	6	6	3	7
8	6	5	5	6	7	6	5	6	6
9	7	7	6	5	6	6	6	6	7
10	3	7	5	4	4	2	5	4	4
11	6	4	5	4	3	5	4	5	4
12	2	2	2	2	2	2	7	4	2
13	3	4	5	4	6	2	5	4	6
14	4	5	5	3	4	4	5	4	5
15	6	7	7	6	6	7	6	5	3
16	5	6	7	3	6	6	6	5	6
17	6	2	5	4	4	2	2	5	1
18	6	6	7	6	7	7	7	6	5
19	3	5	4	5	5	2	2	3	5
20	6	3	6	5	5	4	4	6	6
21	6	3	3	6	4	6	3	6	4
22	6	5	5	5	2	6	6	6	5
23	6	7	6	6	7	6	6	6	5
24	5	6	5	6	7	5	5	6	7
25	6	6	4	5	6	4	6	6	5
26	7	7	5	3	6	6	7	6	7
27	5	7	6	5	6	4	5	5	6
28	6	6	5	6	6	5	5	6	6
29	4	6	6	6	4	3	7	4	7
30	6	7	6	5	5	4	6	6	7
PROM.	5,03	5,53	5,13	4,80	5,30	4,87	5,50	5,13	5,37

Tabla 82*Puntuaciones para la evaluación sensorial del atributo aceptabilidad*

ACEPTABILIDAD									
PANELISTAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	3	5	3	3	3	6	6	6	7
2	6	6	5	5	7	7	7	6	6
3	3	6	6	5	6	5	5	6	4
4	4	6	5	4	4	4	3	5	6
5	2	6	6	5	6	7	7	7	7
6	6	3	6	6	6	6	7	7	7
7	3	4	3	2	3	4	5	5	5
8	3	6	7	6	3	6	5	5	6
9	2	6	5	4	3	6	6	2	7
10	4	5	5	5	5	3	5	6	6
11	4	6	6	6	5	3	5	5	6
12	4	4	5	4	4	3	4	2	5
13	2	6	5	5	7	7	6	4	5
14	3	3	6	5	4	4	5	5	5
15	6	7	6	6	7	6	6	7	6
16	3	7	6	6	6	3	5	6	5
17	4	5	4	5	6	5	2	1	6
18	6	6	7	6	7	7	7	7	6
19	3	3	4	5	5	2	2	5	3
20	5	5	5	5	6	6	5	7	3
21	5	6	4	5	5	3	5	5	3
22	6	6	2	6	2	6	6	7	5
23	7	6	6	7	7	3	6	7	5
24	6	6	5	3	7	6	5	6	7
25	4	6	2	5	6	7	6	4	7
26	2	6	7	5	3	6	6	5	7
27	6	6	6	5	5	6	6	7	6
28	5	5	6	6	6	3	5	6	6
29	3	5	6	7	4	4	7	4	3
30	6	6	6	5	5	6	6	7	4
PROM.	4,20	5,43	5,17	5,07	5,10	5,00	5,37	5,40	5,47

ANEXO 19. INFORMES DE ENSAYO DE ANÁLISIS NUTRICIONAL DE LAS MUESTRAS MÁS ACEPTADA SENSORIALMENTE Y DEL CONTROL

Informe de ensayo N.º 01. análisis nutricional de la muestra T9



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS
Nº 003064-2025

SOLICITANTE : QUISPE CONDE VANESSA ALEXANDRA
DIRECCIÓN LEGAL : ASOC. LOS OVILOS, JR. SAPO SOA MZ E2 LT11
DNI : 72500977 Teléfono : ---

PRODUCTO : SNACK EXTRUIDO TIPO CROCANTE A BASE DE GRITS DE MAÍZ AMARILLO (ZEA MAYZ L), HARINAS DE QUINUA GERMINADA (CHENOPODIUM QUINOA WILL.) Y CUSHURO (NOSTOC SPHAERICUM)

NUMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA : UNSCH-T9-ELVA25
CANTIDAD RECIBIDA : 452,5 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : A Granel, la muestra ingresa en bolsa ziploc cerrada.
SOLICITUD DE SERVICIOS : S/S N°EN-002237 -2025
REFERENCIA : VIA EMAIL
FECHA DE RECEPCIÓN : 15/10/2025
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO / QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:
ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Grasa (g/100 g de muestra original)	1,1	1,06	1,07
2.- Proteína Cruda (g/100 g de muestra original) (Factor:6,25)	10,4	10,42	10,33
3.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	0,7	0,65	0,64
4.- Hierro (Partes por millón)	15,7	15,67	15,69
5.- Humedad (g/100 g de muestra original)	6,0	6,02	6,00
6.- Cenizas (g/100 g de muestra original)	1,3	1,31	1,31
7.- Carbohidratos (g/100 g de muestra original)	81,3	---	---
8.- Energía Total (Kcal/100 g de muestra original)	376,3	---	---
9.- % Kcal. proveniente de Carbohidratos	86,4	---	---
10.- % Kcal. proveniente de Grasa	2,6	---	---
11.- % Kcal. proveniente de Proteínas	10,9	---	---

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:
1.- AOAC 920.39 Cap. 4, Pág. 40, 21st Edition 2019
2.- AOAC 954.01 Cap. 4, Pág. 24, 21st Edition 2019
3.- NTP 205.003:1980 (Revisada el 2011)
4.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 3-4, 21st Edition 2019
5.- AOAC 930.04 Cap. 3, Pág. 1, 21st Edition 2019
6.- AOAC 920.108 Cap. 33, Pág. 65, 21st Edition 2019
7.- Por Diferencia MS-INN Collazos 1993
8.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
9.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
10.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
11.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993

CONTINÚA INFORME DE ENSAYOS Nº 003064-2025

Pág. 1/2

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322
E-mail: lmcl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal
 la molina calidad total



**LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos

INFORME DE ENSAYOS

N° 003000- 2025



FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS: Del 26/09/2025 Al 06/10/2025.

ADVERTENCIA:

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM son responsabilidad del solicitante.
- 2.- La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM es responsable de toda la información suministrada en el informe de ensayos, excepto la información suministrada por el solicitante que pueda o no afectar a la validez de los resultados.
- 3.- Los resultados se aplican únicamente a la muestra recibida. No es un Certificado de Conformidad, ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin autorización de La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM

La Molina, 6 de Octubre de 2025



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM


Lourdes Margarita Barco Saldaña
Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña
Directora Técnica (e)
CBP - N° 01232

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Pág. 2/2

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322

E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

 la molina calidad total



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

Nº 003001-2025

SOLICITANTE : QUISPE CONDE VANESSA ALEXANDRA
DIRECCIÓN LEGAL : ASOC. LOS OVILOS, JR. SAPO SOA MZ E2 LT11
 DNI : 72500977 Teléfono : ---
PRODUCTO : SNACK EXTRUIDO A BASE DE GRITS DE MAÍZ AMARILLO
 (ZEA MAYZ L), HARINA DE QUINUA Y (CHENOPODIUM QUINOA WILL.)
NUMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA : UNSCH-C-ELVA25
CANTIDAD RECIBIDA : 495,2 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : A Granel, la muestra ingresa en bolsa ziploc cerrada.
SOLICITUD DE SERVICIOS : S/S N°EN-002149 -2025
REFERENCIA : VIA EMAIL
FECHA DE RECEPCIÓN : 26/09/2025
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO / QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica
RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Grasa (g/100 g de muestra original)	0,4	0,37	0,39
2.- Proteína Cruda (g/100 g de muestra original) (Factor:6,25)	9,0	9,01	9,05
3.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	0,5	0,58	0,45
4.- Humedad (g/100 g de muestra original)	6,3	6,30	6,25
5.- Cenizas (g/100 g de muestra original)	1,1	1,12	1,11
6.- Carbohidratos (g/100 g de muestra original)	83,2	---	---
7.- Energía Total (Kcal/100 g de muestra original)	372,4	---	---
8.- % Kcal. proveniente de Carbohidratos	89,4	---	---
9.- % Kcal. proveniente de Grasa	1,0	---	---
10.- % Kcal. proveniente de Proteínas	9,7	---	---

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- 1.- AOAC 920.39 Cap. 4, Pág. 40, 21st Edition 2019
- 2.- AOAC 954.01 Cap. 4, Pág. 24, 21st Edition 2019
- 3.- NTP 205.003:1980 (Revisada el 2011)
- 4.- AOAC 930.04 Cap. 3, Pág. 1, 21st Edition 2019
- 5.- AOAC 920.108 Cap. 33, Pág. 65, 21st Edition 2019
- 6.- Por Diferencia MS-INN Collazos 1993
- 7.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 8.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 9.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 10.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993

CONTINÚA INFORME DE ENSAYOS Nº 003001-2025

Pág. 1/2

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
 Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322

E-mail: lmcti.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

la molina calidad total



**LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos

INFORME DE ENSAYOS

N° 003001- 2025



FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS: Del 26/09/2025 Al 06/10/2025.

ADVERTENCIA:

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM son responsabilidad del solicitante.
- 2.- La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM es responsable de toda la información suministrada en el informe de ensayos, excepto la información suministrada por el solicitante que pueda o no afectar a la validez de los resultados.
- 3.- Los resultados se aplican únicamente a la muestra recibida. No es un Certificado de Conformidad, ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin autorización de La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM

La Molina, 6 de Octubre de 2025



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM


Lourdes Barco
Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña
Directora Técnica (e)
CEP - N° 01232

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Pág. 2/2

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322

E-mail: lmctf.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal

 la molina calidad total

ANEXO 20. INFORMACIÓN NUTRICIONAL DEL SNACK COMERCIALES

Figura 65

Información nutricional del snack comercial Cheetos (Frito Lay)



INFORMACIÓN NUTRICIONAL
 Tamaño de la porción: 30 g
 Porciones por envase: 5

Cantidad por porción		
Energía (Calorías)	629 kJ (150 Cal)	
Energía de grasa (Calorías de grasa)	293 kJ (70 Cal)	
		% Valor Diario*
Grasa Total	8 g	13%
Grasa Saturada	4 g	20%
Grasa Trans	0 g	
Grasa Monoinsaturada	3 g	
Grasa Poliinsaturada	1 g	
Colesterol	0 mg	0%
Sodio	160 mg	7%
Carbohidratos Totales	18 g	6%
Fibra	<1 g	2%
Azúcares	<1 g	
Proteína	2 g	3%

* Los porcentajes de Valores Diarios están basados en una dieta de 8380 kJ (2000 calorías).

INGREDIENTES: Gritz de maíz TRANSGÉNICO, aceite vegetal, sazonador queso (maltoedrina de maíz TRANSGÉNICA, suero de leche en polvo, aceite de palma, sal yodada, saborizantes naturales y artificiales, cloruro de potasio (sazonador de sabor), glutamato monosódico (sazonador de sabor), grasa butírica, citrato diésódico (sal fundente), fosfato diésódico (sal fundente), ácido cítrico TRANSGÉNICO (regulador de acidez), estearoil lactilato de sodio (emulsificante), dióxido de silicio (antiapelmazante), colorantes artificiales (amarillo No. 5, amarillo No. 6 y rojo No. 40) y Colorante Amarillo No. 6.

"CONTIENE LECHE", "CONTIENE LACTOSA",
 "CONTIENE TARTRAZINA",
 "PUEDE CONTENER SOYA".

150 g

Figura 66

Información nutricional del snack comercial Chock (Ángel)



Información Nutricional
 42 porciones por envase
 Tamaño de porción 1/2 taza (20 g)

Valor energético	360 kcal (1543 kJ)	70 kcal (309 kJ)	
	100 g	Porción	% VRN*
Proteínas	6 g	1 g	2%
Carbohidratos (disponibles)	81 g	16 g	
del cual,			
Azúcares	31 g	6 g	7%
Fibra dietética	6 g	1 g	4%
Contenido total de grasa	1.7 g	0.3 g	0%
de las cuales,			
Ácidos grasos saturados	0.6 g	0.1 g	1%
Ácidos grasos trans**	0 g	0 g	
Colesterol	0 mg	0 mg	0%
Sodio	176 mg	35 mg	2%
Tiamina (Vit. B1)	0.9 mg	0.18 mg	15%
Riboflavina (Vit. B2)	0.9 mg	0.18 mg	15%
Niacina	11.3 mg	2.3 mg	15%
Vitamina B6	1 mg	0.2 mg	15%
Ácido fólico	180 µg	36 µg	15%
Vitamina B12	1.8 µg	0.36 µg	15%
Hierro	33 mg	6.6 mg	30%

Los porcentajes de valores de referencia de nutrientes (VRN) están basados en una dieta de 2000 kcal (8370 kJ). *VRN según Codex, FDA y UE. **Según normativa FDA (EE.UU.), el contenido de grasas trans menor a 0.5 g por porción puede ser declarado como 0 g.

Figura 67

Información nutricional del snack comercial Power Snack (Yuyu)



IV. TABLA NUTRICIONAL

Tabla 2: Tabla Nutricional de Extruido Power Snack – Clásico en 30 g

Tamaño de porción	30g	
Porciones por envase	1	
Cantidad por porción	30	
Calorías	126.48 Kcal	
Calorías por grasa	28.08 Kcal	
	%VD	
Grasa total (g)	3.12	4.8%
Carbohidratos totales (g)	22.38	7.46%
Proteínas (g)	2.22	4.44%
Ceniza (g)	0.81	

ANEXO 21. NORMA TÉCNICA PERUANA 209.226.2023

NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 209.226 2023
----------------------------------	-----------------------------

Dirección de Normalización - INACAL
Calle Las Camelias 817, San Isidro (Lima 15046)

Lima, Perú

**CEREALES Y PRODUCTOS DERIVADOS. Bocadoitos
de cereales, leguminosas y granos andinos. Requisitos**

CEREALS AND DERIVED PRODUCTS. Snacks of cereals, legumes and andean grains. Requirements

2023-12-29
2ª Edición

R.D. N° 022-2023-INACAL/DN. Publicada el 2024-01-15

Precio basado en 12 páginas

I.C.S.: 67.060

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptorios: Bocadoito, cereales, leguminosas, granos andinos, requisito

© INACAL 2023

6 Requisitos

6.1 Características organolépticas

6.1.1 Olor: Será el característico del producto.

6.1.2 Sabor: Será el característico del producto.

6.1.3 Textura: La crocantez característica del producto.

6.1.4 Color: Será el característico del producto.

6.2 Características fisicoquímicas

6.2.1 El producto no deberá presentar síntomas de rancidez, sabores, colores u olores que indiquen su descomposición.

6.2.2 Las características químicas se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1- Requisitos fisicoquímicos

Característica	Fritos	Extruidos	Tostados	Expandidos	Método de ensayo ⁽²⁾
Humedad, máximo	3 %	5 %	Cereales y granos andinos: 10 % Leguminosas: 5 %	5 %	AOAC 925.10 NTP 205.037 NTP-ISO 712
Cenizas totales, máximo	4 %	4 %	5,5 % ⁽¹⁾	5,5 % ⁽¹⁾	ISO 2171, AOAC 923.03
Índice de peróxido, máximo	10 meq/kg	10 meq/kg	-----	-----	NTP 209.267
Índice de acidez, máximo	0,30 % (expresado en ácido oleico)	0,15 % (expresado en ácido sulfúrico)	2 % (expresado en ácido oleico)	0,15 % (expresado en ácido sulfúrico)	NTP 209.266
(1) Para un producto específico véase las TABLAS PERUANAS DE COMPOSICIÓN DE ALIMENTOS- MINSA 2017, cuyos valores son referenciales. (2) Se podrán utilizar otros métodos de ensayos validados o normalizados equivalentes					

6.3 Requisitos microbiológicos

El producto debe cumplir con los requisitos microbiológicos establecidos en la Tabla 2.

ANEXO 22. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ALIMENTOS DEL PROGRAMA NACIONAL DE ALIMENTACIÓN ESCOLAR QALI WARMA-NTP 209. 226. 1984
CEREAL EXPANDIDO/ EXTRUIDO

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ALIMENTOS DEL PROGRAMA NACIONAL DE ALIMENTACIÓN ESCOLAR QALI WARMA

 PERÚ	Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social	Viceministerio de Prestaciones Sociales	Programa Nacional de Alimentación Escolar QALI WARMA
Versión N° 01	CEREAL EXPANDIDO/EXTRUIDO		Resolución Dirección Ejecutiva N° D000705 -2024-MIDIS/PNAEQW -DE
	CÓDIGO: CDT-CE-2024		Pág. 1 de 4

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

- 1.1 Denominación técnica** Cereal Expandido/Extruido
1.2 Tipo de alimentos No Perecible
1.3 Grupo de alimentos Cereales y productos derivados de cereales, tubérculos
1.4 Descripción general

Cereal extruido	Es el producto elaborado a base de la mezcla de cereales y granos andinos (quinua, cañihua o kiwicha) y/o leguminosas y/o tubérculos y/o raíces u otros ingredientes, los cuales son mezclados para formar una masa que es sometida a un proceso de extrusión, con o sin adición de azúcar o panela o miel de abeja, con o sin fortificación, sin adición de aditivos, sólo se permitirá el uso de saborizantes y/o colorantes naturales. Libre de materias extrañas
Cereal expandido (incluye tipo pop)	Es el producto elaborado a partir de granos enteros (trigo y/o maíz y/o quinua y/o kiwicha y/o cañihua y/u otros cereales) con o sin adición de azúcar o panela o miel de abeja, con o sin fortificación, el cual ha sido sometido a un proceso de expansión o insuflado; sin adición de aditivos, sólo se permitirá el uso de saborizantes y/o colorantes naturales. Libre de materias extrañas

2. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

2.1 Características Organolépticas

Característica	Especificación	Referencia
Sabor, color y olor	Característico del producto, no deberá presentar síntomas de rancidez, sabores, colores u olores que indiquen su descomposición	NTP 209.226 2023 CEREALES Y PRODUCTOS DERIVADOS. Bocaditos de cereales, leguminosas y granos andinos. Requisitos.
Textura	Crocante característica del producto	

2.2 Características Físico Químicas

Característica	Especificación	Referencia
Humedad (%)	Máximo 5	R.M. N° 451-2006/MINSA "Norma Sanitaria para la Fabricación de Alimentos a Base de Granos y otros, destinados a Programas sociales de Alimentación"
Acidez (expresado en ácido sulfúrico) (%)	Máximo 0,15	
*Índice de Gelatinización (%)	Mayor a 94	
Aflatoxina	No detectable en 5 ppb	
**Saponina	Ausente	
Proteínas (%)	Mínimo 8,5	Requisitos del PNAEQW
Azúcar total (g/100g)	Según normatividad vigente	Ley N°30021 "Ley de promoción de la alimentación saludable para niños, niñas y adolescentes y su Reglamento aprobado mediante Decreto Supremo N°017-2017-SA
Sodio (mg/100g)	Según normatividad vigente	
Grasas saturadas (g/100g)	Según normatividad vigente	

(*) Solo aplica para productos extruidos

(**) aplica para los productos que contengan quinua


 Firmado digitalmente por AREVALO CELIS Ricardo Jaime FAU
 202501150953 Perú
 Motivo: Day V B
 Fecha: 22.11.2024 01:00:03 -05:00


 Firmado digitalmente por VEGA CHALCO Gieran Adolfo FAU
 202501154265 Perú
 Motivo: Day V B
 Fecha: 22.11.2024 00:53:53 -05:00

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y
METALURGIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Desarrollo de un snack extruido tipo crocante a base de grits de maíz amarillo (*Zea mays* L.), harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) germinada y cushuro (*Nostoc sphaericum*)

Expositora: Elizabeth Quispe Roiro
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias

Expediente N° 2652648

Resolución Decanal N° 050-2026-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 28-04-2026

En la Sala de Conferencias “Pedro VILLENA HIDALGO” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las once de la mañana con cinco minutos del día jueves treinta de abril del año dos mil veintiséis, se reunieron la Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias **Elizabeth Quispe Roiro**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Dr. Wilfredo TRASMONTA PINDAY, Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE (Miembros) y Dr. Antonio Jesús MATOS ALEJANDRO (Miembro-Asesor), bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la FIQM), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Desarrollo de un snack extruido tipo crocante a base de grits de maíz amarillo (*Zea mays* L.), harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) germinada y cushuro (*Nostoc sphaericum*)**, presentado por la Bachiller **Elizabeth Quispe Roiro**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 050-2026-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó a la Bachiller **Elizabeth Quispe Roiro**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos.

Terminada la exposición de la Bachiller, el Presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Dr. Antonio Jesús MATOS ALEJANDRO, Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE y Dr. Wilfredo TRASMONTA PINDAY.

Concluyó con esta etapa el Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA, en su condición de Presidente.

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Desarrollo de un snack extruido tipo crocante a base de grits de maíz amarillo (*Zea mays* L.), harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) germinada y cushuro (*Nostoc sphaericum*)

**Expositora: Elizabeth Quispe Roiro
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias**

Expediente N° 2652648

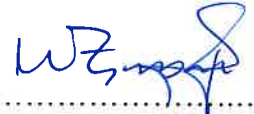


Resolución Decanal N° 050-2026-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 28-03-2026

Culminada la etapa de preguntas, el Presidente del Jurado invitó a la Sustentante y al público para que se sirvan abandonar la Sala de Conferencias con la finalidad de permitir al Jurado de Sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADO POR UNANIMIDAD PROMEDIO QUINCE (15).**

Finalmente el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la Sala de Conferencias, y anunció que la Bachiller **Elizabeth Quispe Roiro**, ha resultado **APROBADA POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con una flamante **INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo la una de la tarde con quince minutos, se dio por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:


.....
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Presidente
.....
Dr. Wilfredo TRASMONTE PINDAY
Miembro
.....
Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE
Miembro
.....
Dr. Antonio Jesús MATOS ALEJANDRO
Miembro-Asesor
.....
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
Secretario DocenteFACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Desarrollo de un snack extruido tipo crocante a base de grits de maíz amarillo (*Zea mays* L.), harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) germinada y cushuro (*Nostoc sphaericum*)

**Expositora: Vanessa Alexandra Quispe Conde
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias**

Expediente N° 2652648

Resolución Decanal N° 050-2026-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 28-04-2026

En la Sala de Conferencias “Pedro VILLENA HIDALGO” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las once de la mañana con cinco minutos del día jueves treinta de abril del año dos mil veintiséis, se reunieron la Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias **Vanessa Alexandra Quispe Conde**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Dr. Wilfredo TRASMONTA PINDAY, Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE (Miembros) y Dr. Antonio Jesús MATOS ALEJANDRO (Miembro-Asesor), bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la FIQM), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Desarrollo de un snack extruido tipo crocante a base de grits de maíz amarillo (*Zea mays* L.), harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) germinada y cushuro (*Nostoc sphaericum*)**, presentado por la Bachiller **Vanessa Alexandra Quispe Conde**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 050-2026-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó a la Bachiller **Vanessa Alexandra Quispe Conde**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos.

Terminada la exposición de la Bachiller, el Presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Dr. Antonio Jesús MATOS ALEJANDRO, Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE y Dr. Wilfredo TRASMONTA PINDAY.

Concluyó con esta etapa el Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA, en su condición de Presidente.

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Desarrollo de un snack extruido tipo crocante a base de grits de maíz amarillo (*Zea mays* L.), harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) germinada y cushuro (*Nostoc sphaericum*)**Expositora: Vanessa Alexandra Quispe Conde
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias**

Expediente N° 2652648

Resolución Decanal N° 050-2026-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 28-04-2026

Culminada la etapa de preguntas, el Presidente del Jurado invitó a la Sustentante y al público para que se sirvan abandonar la Sala de Conferencias con la finalidad de permitir al Jurado de Sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADA POR UNANIMIDAD PROMEDIO DIECISEIS (16).**

Finalmente el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la Sala de Conferencias, y anunció que la Bachiller **Vanessa Alexandra Quispe Conde**, ha resultado **APROBADA POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con una flamante **INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo la una de la tarde con quince minutos, se dio por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:

Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
PresidenteDr. Wilfredo TRASMONTÉ PINDAY
MiembroMg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE
MiembroDr. Antonio Jesús MATOS ALEJANDRO
Miembro-AsesorMg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
Secretario Docente



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El Director de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, hace CONSTAR:

Que, las Srtas. Elizabeth QUISPE ROIRO y Vanessa Alexandra QUISPE CONDE egresadas de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias han remitido, con el aval y por intermedio de su asesor Ing. Antonio Jesús Matos Alejandro, la Tesis: Desarrollo de un snack extruido tipo crocante a base de grits de maíz amarillo (*Zea mays* L.), harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), germinada y cushuro (*Nostoc sphaericum*) y se precisa con el Informe de Originalidad de Turnitin, que el índice de similitud del trabajo es de 23% y que se ha generado el Recibo digital que confirma el Depósito que el trabajo ha sido recibido por Turnitin con fecha mayo 12 de 2026 e Identificador de la Entrega N° 2959503956.

Se expide la presente, para los fines pertinentes.

Ayacucho, 13 de mayo del 2026.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL
DE HUAMANGA
E. P. DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Ing° CIP Antonio L. Matos Alejandro
DIRECTOR

c.c. : Archivo.
Constancia N° 084

Desarrollo de un snack extruido tipo crocante a base de grits de maíz amarillo (*Zea mays* L.), harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) germinada y cushuro (*Nostoc sphaericum*)

por Elizabeth Quispe Roiro y Vanessa Alexandra Quispe Conde

Fecha de entrega: 12-may-2026 12:25p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2959503956

Nombre del archivo: 6._TESIS_RECORTADA_PARA_PASAR_TURNITIN.pdf (2.57M)

Total de palabras: 43906

Total de caracteres: 224668

Desarrollo de un snack extruido tipo crocante a base de grits de maíz amarillo (*Zea mays* L.), harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) germinada y cushuro (*Nostoc sphaericum*)

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	3%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.unaj.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
10	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	repositorio.unah.edu.pe	

Fuente de Internet

<1 %

12

www.scielo.org.pe

Fuente de Internet

<1 %

13

www.revistas.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

14

www.scielo.org.bo

Fuente de Internet

<1 %

15

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

16

qdoc.tips

Fuente de Internet

<1 %

17

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

18

www.revencyt.ula.ve

Fuente de Internet

<1 %

19

repositorio.uteq.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

20

revistas.unicauca.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

21

dgsa.uaeh.edu.mx:8080

Fuente de Internet

<1 %

22

cris.ulima.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

23

Submitted to Universidad Nacional Autonoma
Altoandina de Tarma

Trabajo del estudiante

<1 %

24

www.yumpu.com

Fuente de Internet

<1 %

25

dspace.esPOCH.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

26	www.engormix.com Fuente de Internet	<1 %
27	cdigital.uv.mx Fuente de Internet	<1 %
28	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
29	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
30	cedite.facet.unt.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
31	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
32	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
33	revistas.ulcb.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
35	Submitted to Sociedad de Madres Salesianas Trabajo del estudiante	<1 %
36	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
37	oaji.net Fuente de Internet	<1 %
38	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
39	repositorio.upct.es Fuente de Internet	<1 %
40	Submitted to Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco Trabajo del estudiante	<1 %

41

Submitted to Universidad Nacional de Costa Rica

Trabajo del estudiante

<1 %

42

repositorio.unsa.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo