

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias



**Propiedades tecnológicas y de textura de pasta sin gluten a  
base de quinua (Chenopodium Quinoa Willd)**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Industrias  
Alimentarias

**Autor:**

Yisenia Mirian Itusaca Maldonado

**Asesor:**

Mg. Edgar Mayta Pinto

**Juliaca, diciembre del 2023**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mg. Edgar Mayta Pinto, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“PROPIEDADES TECNOLOGICAS Y DE TEXTURA DE PASTA SIN GLUTEN A BASE DE QUINUA (*CHENOPODIUM QUINOA WILLD*)”** del autor Yisenia Mirian Itusaca Maldonado tiene un índice de similitud de 17% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 11 días del mes diciembre del año 2023.



---

Mg. Edgar Mayta Pinto

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquián, a 11 día(s) del mes de diciembre del año 2023 siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing. Joel Jerson Loaguira Quipe, el (la) secretario(a): Ing. Enrique Mamani  
Evela y los demás miembros: Hec. Yaxmen Rosa Apaza  
Hernandez y el (la) asesor(a) Mg. Edgar Mayta Pinto

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:  
"Propiedades tecnológicas y de textura de pasta sin gluten a base de quinua (Lphenopodium Quinoa Willd)"

del(los) bachiller(es): a) Yisenia Miriam Itusaca Maldonado  
 b) .....  
 c) .....

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero de Industrias Alimentarias  
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Yisenia Miriam Itusaca Maldonado

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>19</u>	<u>A</u>	<u>Excelente</u>	<u>Excelencia</u>

Bachiller (b): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]  
 Presidente/a  
[Firma]  
 Asesor(a)  
[Firma]  
 Bachiller (a)

[Firma]  
 Miembro  
 \_\_\_\_\_  
 Bachiller (b)

[Firma]  
 Secretario/a  
 \_\_\_\_\_  
 Miembro  
 \_\_\_\_\_  
 Bachiller (c)

## DEDICATORIA

A mi amada madre, Nancy Maldonado, cuyo amor incondicional y sacrificios han sido mi mayor inspiración. Tu fuerza y dedicación han sido el motor que impulsa cada logro en mi vida. Gracias por ser mi guía y mi mayor apoyo, esta tesis también es tuya.

A mis queridos hermanos, Rony y Dianet, compañeros de vida y cómplices de mis sueños. Su apoyo constante y ánimo inquebrantable han hecho que este camino sea más llevadero. Juntos hemos superado desafíos, celebrado éxitos y, hoy, comparten conmigo este logro tan significativo.

A mi amado novio, David, quien ha sido mi roca y mi confidente a lo largo de este exigente viaje académico. Tu amor y comprensión han iluminado incluso los días más oscuros. Gracias por ser mi refugio y por caminar a mi lado en esta travesía.

A cada uno de ustedes, dedico esta tesis con profundo agradecimiento. Su presencia en mi vida ha dado forma a esta historia, y cada página escrita es un reflejo de su impacto en mi camino. Este logro es nuestro, y celebro con gratitud la conexión que compartimos.

## AGRADECIMIENTO

En el culmen de este recorrido académico, elevo mi más profundo agradecimiento a Dios, fuente inagotable de sabiduría y guía. Su luz ha iluminado cada paso de esta travesía, dándome fuerza en los momentos de desafío y gratitud en los momentos de triunfo.

A la Universidad Peruana Unión, agradezco sinceramente por proporcionarme un entorno educativo excepcional. Esta alma mater no solo me ha brindado conocimientos, sino también valores cristianos que han enriquecido mi formación integral.

Al Mg. Edgar Mayta, mi asesor y guía durante esta investigación. Su dedicación, conocimientos y orientación fueron esenciales para la culminación de esta tesis. Aprecio profundamente su paciencia y compromiso a lo largo de este proceso.

Al Mg. Joel Coaquira, Mg. Carme Apaza y Mg. Enrique Mamani, distinguidos dictaminadores, cuyas revisiones críticas y sugerencias constructivas han enriquecido este trabajo, les agradezco por su tiempo y conocimientos compartidos. Su contribución ha elevado la calidad y relevancia de esta investigación.

A la empresa Naturkost Perú S.A.C, por proporcionar los equipos, instalaciones que fueron herramientas fundamentales para llevar a cabo esta investigación. Su generoso apoyo ha facilitado, enriquecido el desarrollo y la realización de este proyecto.

Agradezco a mis docentes, quienes, con su pasión por la enseñanza, han dejado una huella imborrable en mi formación académica. Cada lección, cada consejo, ha sido un pilar en mi desarrollo intelectual.

A mis compañeros de clase, verdaderos compañeros de viaje, agradezco la camaradería, el intercambio de ideas y el apoyo mutuo. Juntos hemos enfrentado desafíos y celebrados logros, creando recuerdos que perdurarán más allá de las aulas.

## ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	9
2. Materiales y Metodología.....	11
2.1. Materia Prima e insumos.....	11
2.2. Materiales.....	11
2.3. Equipos.....	11
2.4. Diseño Experimental.....	11
2.5. Elaboración de pasta.....	12
2.6. Caracterización del producto.....	13
2.6.1. Análisis de Propiedades de cocción.....	13
2.6.2. Tiempo óptimo de cocción (TOC).....	13
2.6.3. Pérdida de sólidos (PC).....	13
2.6.4. Ganancia de masa (GM).....	13
2.6.5. Rendimiento de Cocción (RC).....	13
2.7. Análisis de Propiedades Tecnológicas.....	14
2.7.1. Índice de Hinchamiento (IH).....	14
2.7.2. Absorción de agua (AA).....	14
2.7.3. Determinación de Color.....	14
2.8. Determinación de Textura.....	14
2.9. Análisis Estadístico.....	15
3. Resultados y discusiones.....	16
3.1. Composición Nutricional.....	16
3.2. Perfil de cocción.....	16
3.2.1. Tiempo de cocción óptimo.....	16
3.2.2. Pérdida de Sólidos.....	17
3.2.3. Rendimiento de cocción.....	20
3.2.4. Índice de hinchazón e índice absorción de agua.....	20
3.3. Análisis de Textura (Fuerza de compresión).....	21
3.4. Color.....	25
3.5. Optimización del rendimiento.....	26
4. Conclusiones.....	28
5. Referencias.....	29
6. Anexo.....	34

## **Propiedades tecnológicas y de textura de pasta sin gluten a base de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*)**

### **Resumen**

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) es un grano andino con una perfecta composición nutricional que diversificando su transformación se convierte en una atractiva alternativa para los consumidores que buscan una alimentación saludable de alta calidad con fuente de proteínas vegetales. El objetivo de este trabajo fue elaborar y evaluar las propiedades tecnológicas y de textura de pastas de quinua en su totalidad, a través del Diseño Central Compuesto Estrellado (DCC) de 5 variables de proceso que fueron; Temperatura del agua (°C), Cantidad de agua (ml), Tiempo de mezclado (Min), Temperatura de secado (°C), y Tiempo de Secado (min) con 5 niveles cada uno. A su vez se estudiaron el rendimiento y la buena calidad de cocción para la optimización del proceso. En el modelo de respuesta se mostró, que medida que aumentaba X4, el tiempo de cocción disminuía y los valores a\* y b\* incrementa y el valor L disminuye. Por otro lado, si se incrementa X5, aumentaba la pérdida de cocción, ganancia de masa, y la textura lo que resultó ser significativo. Mientras que el índice de hinchamiento solo fue significativo positivo lineal con interacción X4X5 dentro de las propiedades tecnológicas. Además, se encontró que las condiciones óptimas para la elaboración de pasta de calidad fueron a 25°C(X1): 1150 ml (X2): 30 min (X3): 70 °C(X4) y 80 min (X5) respectivamente y con una deseabilidad de 0.883. Como resultado de la elaboración de pasta con quinua se tuvo el tiempo de cocción fue de 7 min, pérdida de cocción 2.46 %, ganancia de masa 23.6 %, 7.99 % rendimiento de cocción, índice de hinchamiento 2.9 g/g, absorción de agua 135%, 12.71 g de proteína y 0. 21 Pa en textura, siendo estos resultados coherentes con investigaciones citadas. Así mismo la blancura era de 51.97, para el valor a\* 2.41, y b\* 12.45, lo que se ve reflejada en el rendimiento final del proceso en 78%. En conclusión, los resultados, indicaron que, al optimizar las condiciones en la producción de pasta de quinua sin gluten, es posible obtener un producto libre de gluten con alto valor agregado, excelente calidad de cocción, adecuada propiedades tecnológicas, textura y color aceptables para el consumidor.

**Palabras clave:** Quinua, calidad culinaria, textura, sin gluten.

## Abstract

Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) is an Andean grain with a perfect nutritional composition that, by diversifying its transformation, becomes an attractive alternative for consumers looking for a high-quality healthy diet with a source of vegetable proteins. The objective of this work was to elaborate and evaluate the technological and textural properties of quinoa pasta in its entirety, through the Starry Composite Central Design (DCC) of 5 process variables that were; Water Temperature (°C), Water Quantity (ml), Mixing Time (min), Drying Temperature (°C), and Drying Time (min) with 5 levels each. At the same time, the yield and good cooking quality were studied for the optimization of the process. In the response model it was shown that as X4 increased, the cooking time decreased and the a\* and b\* values increased and the L value decreased. On the other hand, if you increased X5, you increased the cooking loss, dough gain, and texture which turned out to be significant. While the swelling index was only significant positive linear with X4X5 interaction within the technological properties. In addition, it was found that the optimal conditions for the production of quality paste were at 25°C(X1): 1150 ml (X2): 30 min (X3): 70 °C (X4) and 80 min (X5) respectively and with a desirability of 0.883. As a result of the preparation of pasta with quinoa, the cooking time was 7 min, cooking loss 2.46%, mass gain 23.6%, cooking yield 7.99%, swelling index 2.9 g/g, water absorption 135%, protein 12.71 g and 0.21 Pa in texture, these results being consistent with cited research. Likewise, the whiteness was 51.97, for the value a\* 2.41, and b\* 12.45, which is reflected in the final yield of the process at 78%. In conclusion, the results indicated that, by optimizing the conditions in the production of gluten-free quinoa pasta, it is possible to obtain a gluten-free product with high added value, excellent cooking quality, adequate technological properties, texture and color acceptable to the consumer.

Keywords: Quinoa, cooking quality, texture, gluten-free.

## 1. INTRODUCCIÓN

La pasta es un producto tradicional italiano elaborado principalmente con trigo duro y reconocido a nivel mundial por la versatilidad, perfil de carbohidratos complejos, agradable perfil sensorial, costo accesible, larga vida útil, simplicidad en la preparación y adaptabilidad a ciertos enriquecimientos u fortificaciones en la actualidad (Rani et al., 2019). Pese a estos atributos el trigo, contiene gluten, proteína constituida de dos componentes principales (gliadina y glutenina), las cuales son responsables de las propiedades tecnológicas de la masa; así como en la relación directa de los atributos de calidad de la pasta, reflejadas en términos de textura, calidad de cocción y el desarrollo estructural durante el procesamiento de pasta (Demir & Bilgiçli, 2021). Por otro lado, se ha evidenciado del aumento de algunos trastornos digestivos entre la población, como la intolerancia al gluten, que ha creado la necesidad de producir alimentos diferenciados para cubrir este creciente segmento de mercado (Leonard et al., 2017). Dentro de estos trastornos se encuentra la enfermedad celiaca (EC) caracterizado por el proceso inflamatorio del intestino y la incapacidad de digerir las proteínas del gluten que están presentes en ciertos cereales como el trigo, cebada, centeno y probablemente la avena (Lorenzo et al., 2018). Se estima que el 1% de la población padece de la enfermedad celiaca y recientemente el 6 % padece sensibilidad al gluten no celiaca relacionada con el gluten (Khatri et al., 2023), siendo la única cura para la enfermedad celiaca; una dieta estricta sin gluten de por vida, ya que concentraciones menores de gluten son suficientes para provocar una respuesta inmune, por lo tanto, requieren alimentos sin gluten de alta calidad (Abugoch et al., 2008).

Hoy en día, los productos de pasta sin gluten tienen un creciente interés, causado por su funcionalidad, dado que el nivel de proteínas y componentes bioactivos en harinas convencionales son muy bajos, Así mismo lograr productos nutritivos y óptimos a la vista del consumidor, con similar calidad de cocción a una pasta tradicional es un gran desafío. En tal sentido es necesario estudiar nuevos ingredientes como la quinua, así como las condiciones de procesamiento que mejoren las propiedades tecnológicas y funcionales de las masas sin gluten. Estudios anteriores han intentado usar harinas alternativas para mejorar el valor nutricional de los productos de pasta sin gluten, como por ejemplo la harina de quinua (Schoenlechner et al., 2010); harina de mijo y pasta enriquecida con pseudocereales (Gull et al., 2018; Kamali Roustae et al., 2021; Lorenzo et al., 2018; Rani et al., 2019; Talens Oliag P., 2016).

En definitiva la quinua, cultivo originario de América del Sur, puede tener un papel fundamental en aplicaciones de alimentos funcionales; debido a su alto potencial de proteínas (12.9-16.5%), aminoácidos esenciales como lisina (5.4g /100g), histidina (2.9g /100g), metionina (3.6g/100g) (Dakhili et al., 2019), lípidos de alta calidad (linoleato y linolenato), compuestos bioactivos, vitaminas y minerales (hierro, calcio) en comparación con el trigo, lo que la califica apta para una dieta saludable según la FAO.

Por consiguiente, la calidad de cocción y la estructura final de la pasta, dependerá de las características de la materia primas y las condiciones adoptadas durante la producción (Brandolini et al., 2018). La producción de pastas comúnmente implica el mezclado, extruido, secado y enfriado (Li et al., 2017), así como la cantidad de agua agregada, la temperatura del agua y el tiempo de mezclado afectando la calidad final de la pasta y la aceptación del consumidor. Del mismo modo la tecnología de extrusión es un método que promueve la migración de humedad, mejora la calidad de la masa produciendo pastas con una estructura uniforme y apretada (Yan et al., 2020). En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar las propiedades tecnológicas y de textura de pasta sin gluten a base de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) y optimizar las variables del proceso utilizando metodología de Superficie Respuesta, para proporcionar en el uso industrial.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Materia Prima e insumos**

En este estudio se utilizó grits de quinua obtenidas bajo proceso de molienda gruesa, que fue proporcionado por Naturkost Perú, San Román, Perú. Los insumos de agua tratada y sal marina (5g.) fueron adquiridas en el mercado local y de marcas nacionales. Se pesó 5 gr de sal, para su posterior dilución en soluciones respectivas de los tratamientos con relación a la cantidad de agua que se muestra en la tabla 2, para dispersar la salinidad homogéneamente y 5 kg de Grits de quinua para su posterior uso.

### **2.2. Materiales**

Vasos precipitados, mortero y su pilón, pipetas, Cocina eléctrica, luna de reloj, espátula, bolsas de polipropileno, embudo, matraces, cronómetros, papel film, termómetro de mercurio, desecador de vidrio, tubos de centrífuga, placas petri de vidrio, gradillas, pinzas metálicas, etc.

### **2.3. Equipos**

Medidor de Humedad (Techlab, Perú), extrusora en frio (Dominioni, Punto & Pasta SRL, Italia), horno rotatorio de acero inoxidable (NOVA 2000 MAX, Perú), balanza analítica (PIONEER Incal, USA), colorímetro (Fru-WR10QC, Shanghai, China), centrífuga, dinamómetro ( PASCo airlink PS-3200, estufa (KERT LAB, ODHG, USA).

### **2.4. Diseño Experimental**

Las variables de proceso se realizaron a través del Diseño Central Compuesto Estrellado (DCC), para 5 variables y 5 niveles cada uno con una combinación de 2 puntos centrales. La tabla 1 muestra las formulaciones calculadas para el diseño experimental. El rango de cada variable se seleccionó en base a las pruebas iniciales y los rangos fueron: Temperatura de agua ( $X_1$ :45°C-5°C), cantidad de agua ( $X_2$ :1550 ml-1150 ml), tiempo de mezclado ( $X_3$ :50 min-10 min), temperatura de secado ( $X_4$ :90°C-50°C) y tiempo de secado ( $X_5$ :120 min- 40 min). El rendimiento del proceso y la buena calidad de cocción se tomó como variable respuesta, para el proceso de optimización.

## 2.5. Elaboración de pasta

Las pastas de quinua, libre de gluten tipo piperigate se elaboraron de manera propia y con las condiciones que muestra la Tabla 1; cada prueba de bach fue de 5kg. El proceso consistió en el acondicionamiento de los grits de quinua, sal y agua según parámetros establecidos en el diseño. Las cuales fueron mezcladas, extruidos y secados según las condiciones del diseño, y enfriados a temperatura ambiente para finalmente almacenarlos en bolsas de polietileno herméticamente cerradas para su posterior uso en los análisis de propiedades tecnológicas, textura y color. El proceso de cocción mediante extrusión como se indica permitió texturizar y homogeneizar masas de pasta brindando las condiciones necesarias para la pregelatinización del almidón, durante este proceso los componentes interactúan entre sí produciendo pastas con textura deseable y propiedades sensoriales. La muestra patrón fue la pasta comercial a base de trigo, avena y quinua tipo piperigate que fue adquirida del supermercado (Santa Catalina, Lima, Perú).

**Tabla 1**

*Factores para el diseño experimental en la elaboración de pasta*

Factores	Pasta quinua				
	+ $\alpha$	+1	0	-1	- $\alpha$
Temperatura de agua (°C)	45	35	25	15	5
Cantidad de agua (ml)	1550	1450	1350	1250	1150
Tiempo de Mezclado (min)	50	40	30	20	10
Temperatura de secado-Horno (°C)	90	80	70	60	50
Tiempo de secado-Horno(min)	120	100	80	60	40

*Nota:* Niveles y factores independientes del proceso de obtención de pasta de quinua.

## 2.6. Caracterización del producto

### 2.6.1. *Análisis de Propiedades de cocción*

La calidad de cocción de la pasta se realizó en términos de cuatro respuestas, a saber, de acuerdo con las directrices de AACC 66-50.01(AACC, 2009), que define las condiciones de cocción y el procedimiento para la determinación de la calidad de cocción en pasta. Las muestras se determinaron por triplicado.

### 2.6.2. *Tiempo óptimo de cocción (TOC)*

En un vaso de precipitados de 500 ml se calentaron 300 ml de agua hasta ebullición. Se pusieron 25 g  $\pm$  0,1 g de pasta en agua hirviendo (sin adición de sal) sin detener la ebullición del agua. Cada 30 s, se sacaron una pasta y se prensó entre dos placas de metacrilato. En el momento en que ya no se veía un núcleo blanco, se alcanzaba el tiempo de cocción. El tiempo de cocción se determinó triplicado.

### 2.6.3. *Pérdida de sólidos (PC)*

Se determinó gravimétricamente pesando los residuos después de evaporar el agua de cocción, la pasta se cocinó según el TOC. Se evaporó el agua de cocción recogida de cada muestra hasta obtener un peso constante en un horno a 105°C. El residuo se pesó y se informó como sigue:

$$PC(\%) = \frac{\text{Peso de residuo seco en agua de cocción}}{\text{Peso seco de la muestra}} \times 100$$

### 2.6.4. *Ganancia de masa (GM)*

La ganancia de masa se define como el aumento de peso de la pasta durante la cocción e indica la cantidad de agua que se absorbe y, por lo tanto, es un índice de la hinchazón capacidad de los fideos. Cada muestra de pasta fue cocinada según el tiempo de cocción determinado, entonces la cocción el peso se calculó y se expresó en%.

$$PsC(\%) = \frac{\text{Peso de la pasta cocida}}{\text{Peso de la pasta cruda}} \times 100$$

### 2.6.5. *Rendimiento de Cocción (RC)*

Se determinó según Bhatt & Gupta,( 2023)

$$RC = \frac{\text{Peso de la pasta cocida} - \text{peso de la pasta seca}}{\text{Peso de la pasta seca}} \times 100$$

## 2.7. Análisis de Propiedades Tecnológicas

### 2.7.1. Índice de Hinchamiento (IH)

Se cocinó 10 g de pasta en 100 ml de agua destilada hirviendo. La pasta cocida se secó hasta obtener una masa constante en 105°C y pesada (Gull et al., 2018). El índice de hinchamiento se expresó como 1g de agua/g de pasta seca y calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$IH = \frac{(\text{Peso de la pasta cocida} - \text{Peso de la pasta seca})(g)}{\text{Peso de la pasta seca}(g)}$$

### 2.7.2. Absorción de agua (AA)

Se cocinó 10 g de pasta en 100ml de agua destilada hirviendo de acuerdo a su tiempo, se secaron y pesaron. La absorción de agua de la pasta cocida se expresó en g/ 100 g y se calculó utilizando la ecuación para la cocción.

$$AA = \frac{(\text{Peso de la pasta cocida} - \text{Peso de la pasta cruda})(g)}{\text{Peso de la pasta cruda}(g)} \times 100$$

### 2.7.3. Determinación de Color

Los valores de color de los productos se evaluaron en crudo y cocido implementando un colorímetro Digital (Fru-WR10QC, Shangai, China), determinando L\* (negro (0) a blanco (100)), a\* (+ a = rojo, -a = verde), y Valores de b\* (+ b = amarillo, -b = azul). Se tomaron 3 medidas para cada muestra. Cada color de muestra se comparó con el color de la muestra de control y las diferencias en L\*, a\* y b\* se compilaron en la diferencia de color total ( $\Delta E^*$ ). El  $\Delta E$ , se calculó utilizando la siguiente expresión:

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

## 2.8. Determinación de Textura

Para la evaluación de esta propiedad se usó el instrumento de dinamómetro (PASCo airlink PS-3200, Australia), con frecuencia de muestreo de 20Hz, se utilizó una varilla digital con un diámetro de 5.57 mm para comprimir las muestras con una Fuerza de 5 N y una velocidad inicial de 2.0 mm/s hasta quebrar la pasta, se realizó 12 repeticiones para cada tratamiento y determinar la fuerza máxima aplicada (Pa). Este dispositivo inalámbrico con puerto USB que se conecta a una computadora o tableta a través de Bluetooth SMART, recogió los datos en su Software SPARKvue, que posteriormente fueron analizados.

## **2.9. Análisis Estadístico**

Los datos del diseño experimental se analizaron estadísticamente mediante el análisis de varianza (ANOVA) con  $p < 0.05$  utilizando el software DESIGN EXPERT (versión 19.2.0 Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, EE. UU.). Los resultados cuantitativos se expresaron como media aritmética y desviación estándar ( $\bar{x}$  y  $\pm$ ).

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **3.1. Composición Nutricional**

La composición nutricional de la pasta patrón y la óptima fueron 12,00 g/100g y 12.11 g/100g de humedad, el contenido de proteínas de la pasta de quinua procesada se incrementó de 14.90 g/100g a 18.79 g/100 g en condiciones de 35°C, 1250 ml de agua, 40 min de mezclado, 80°C de secado y 60 minutos para el tiempo de secado. Respecto al contenido de grasa fue 0.53 g /100g para la pasta patrón y 9.11 g/100g; el contenido de carbohidratos 74.80 g /100 g para la muestra patrón y 70.77 g/100g en la pasta óptima, respectivamente. Las pastas presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en sus contenidos de proteína, grasa, fibra y carbohidratos, que podría atribuirse a la disminución del porcentaje de sémola en la formulación (Linares-García et al., 2019).

#### **3.2. Perfil de cocción**

##### **3.2.1. Tiempo de cocción óptimo**

La tabla 3 muestra los resultados de tiempo óptimo de cocción de las pastas de quinua según el diseño experimental. Se encontró que el valor para el patrón fue de 14.7 min y 6.33-7.33 min en 28 grupos experimental. Usando estos resultados, solamente se encontró los términos de TOC como lineal (X4), cuadrático (X4, x4) de la variable dependiente, que tuvieron efecto significativo negativo, es decir, si incremento X4, baja el tiempo de cocción. El modelo que se ajusta fue el modelo cuadrático y con un coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.87$ ).

Así mismo frente a la muestra control, se tiene valores hasta por debajo de la mitad, debido al contenido de proteínas y los parámetros de procesamiento, el punto de ebullición en la sierra y demás factores. Según Kamali Rousta et al., (2021); Rani et al., (2019), observaron que la variación del tiempo puede ser el resultado de varios parámetros como la cantidad de proteína, la calidad del gluten, la concentración de la materia prima, el contenido de amilosa-lípidos que inhibe la lixiviación de los gránulos de almidón y evita la entrada de agua en los gránulos, la gelatinización en una mayor disponibilidad de agua también reduce el tiempo. Por otra parte, Garcia-Valle et al., (2021) . Todos los grupos experimentales mostraron resultados consistentes con este estudio, realizados en pastas con harina de leguminosas.

### **3.2.2. Pérdida de Sólidos**

La cantidad de residuos sólidos en el agua de cocción se usa ampliamente como un indicador de calidad de la pasta: bajas cantidades de residuos indican una buena calidad de la pasta (AACC, 2009). Como muestra la tabla 2, la pérdida de cocción aumentó significativamente ( $p < 0,05$ ) en los tratamientos respecto a la muestra patrón. Así mismo se identificó efectos principales, estadísticamente significativo y positivo de términos lineal (X5) de manera positiva y de producto cruzado (X4X5), es decir, si incrementa el factor X5, incrementa el valor de la pérdida de cocción. El modelo que se ajusta fue el modelo cuadrático con un  $R^2$  de 0.8617. Este aumento de pérdida de cocción de la pasta podría atribuirse a la interacción débil de las proteínas de la quinua (albúminas y globulinas), el mayor contenido de fibra, el proceso de extrusión afectó la estructura compacta de proteínas y almidones, debilitándola y provocando la liberación de sólidos durante la cocción en el producto según informo investigaciones (Kamali Roustae et al., 2021; Lorusso et al., 2017). Para nuestra pasta patrón el valor bajo pérdida de cocción frente a los demás tratamientos se debe a que dentro de los ingredientes tuvo huevo, que promueve la densidad de la red de proteínas, evitando así la fuga de sólidos y asegurar la cohesión de la masa cuando se calienta, que se suele estar presentes en pastas comerciales (Huang et al., 2022).

El modelo que se ajusta fue el modelo cuadrático ( $p < 0.05$ ) con un  $R^2$  de 0.7959. Este aumento de peso de la pasta cocida podría atribuirse a la capacidad de retención de agua de la proteína de quinua. Además, la proteína presente en la quinua se caracteriza por la presencia de aminoácidos polares, lo cual favorece la absorción de agua, contribuyendo así al incremento en el peso de la pasta después de cocinarla. En otro estudio, realizado por Sobota & Zarzycki, (2013) se observó que incrementar el tiempo de cocción de la pasta resulta en una mayor pérdida de cocción, debido a la hidratación de las capas de la pasta; donde los gránulos de almidón se gelatinizan llevándose los componentes solubles de la materia seca (Bhatt & Gupta, 2023), obtuvo valores cercanos a nuestra investigación al sustituir con aislado de proteína de quinua.

**Tabla 2***Resultados de propiedades de cocción de pasta libre de gluten*

Tratamiento	Respuesta											
	X1	X2	X3	X4	X5	Tiempo de cocción(min)	Perdida de cocción (%)	Ganancia de Peso (%)	Rendimiento de cocción	Índice de hinchamiento (g/g)	Absorción de agua (%)	Rendimiento proceso (%)
Patrón	-	-	-	-	-	14.7± 0.5	1.64± 0.01	20.64± 0.85	3.29± 0.83	2.22± 0.13	109.4± 9	-
1	35	1250	20	60	60	7± 0	8.53± 0.7	23.67± 2.87	8.59± 5.05	2.69± 0.45	165± 5	66.00±1.00
2	35	1450	40	60	60	7.19± 0.26	14.03± 0.83	22± 1.41	12.35± 7.14	2.59± 0.23	125± 5	37.00±2.65
3	35	1250	40	60	100	7± 0	4.4± 0.08	26± 2.16	9.86± 5.81	2.13± 0.26	175± 5	51.00±1.00
4	15	1250	40	60	60	6.33± 0.47	10.77± 1.11	24± 3.56	14.45± 8.42	2.18± 0.47	165± 5	57.33±0.58
5	15	1450	40	60	100	7.33± 0.47	13.48± 0.45	26± 0	8.33± 4.8	1.54± 0	160± 0	30.33±0.58
6	15	1250	20	60	100	7± 0.82	13.16± 0.04	26± 2.16	10.69± 6.63	2.17± 0.26	175± 5	83.00±2.00
7	35	1450	20	60	100	6.67± 0.47	14.23± 0.45	27.33± 0.47	7.95± 4.18	2.11± 0.05	175± 5	61.67±0.58
8	15	1450	20	60	60	6.33± 0.47	16.64± 0.71	25± 0.82	9.32± 5.11	2.16± 0.1	145± 5	44.67±0.58
9	25	1350	30	70	120	7± 0	18.24± 0.58	27.67± 1.25	9.2± 7.08	2.37± 0.15	170± 10	68.83±1.15
10	25	1350	50	70	80	6.67± 0.47	19.36± 0.68	23.33± 0.94	9.46± 4.03	2.64± 0.82	130± 10	70.00±1.00
11	45	1350	30	70	80	6.67± 0.47	9.16± 0.48	23.67± 1.25	12.98± 7.93	1.88± 0.15	147.5± 2.5	76.33±1.15
12	25	1150	30	70	80	7± 0.82	2.46 ±0.58	23.67± 0.47	7.99± 5.37	2.9± 0.06	135± 5	78.00±5.29
13	25	1550	30	70	80	6.33± 0.47	12.19± 0.46	25.67± 1.7	6.56± 2.96	2.3± 0.22	145± 5	56.00±1.00

14	25	1350	30	70	80	7± 0.82	17.78± 0.64	24.67± 1.7	9.72± 5.27	2.16± 0.22	135± 5	41.67±1.53
15	25	1350	30	70	80	7± 0.82	12.93± 0.54	26.67± 2.05	9.27± 4.68	2.22± 0.34	167.5± 2.5	41.00±0.00
16	25	1350	10	70	80	6.67± 0.47	14.4± 0.78	26± 2.16	9.3± 4.7	2.31± 0.27	145± 5	50.67±1.53
17	25	1350	30	70	40	6.33± 0.47	6.35± 0.37	24.33± 0.47	7.83± 4.15	2.08± 0.06	145± 5	68.00±1.00
18	35	1250	20	80	100	6± 0.82	16.75± 0.99	24.97± 2.11	11± 6.69	2.29± 0.28	149.5± 9.5	69.67±1.53
19	15	1450	20	80	100	6.67± 0.47	14.98± 1.08	26.33± 1.25	9.01± 5.3	2.36± 0.16	155± 5	40.33±4.04
20	15	1250	40	80	100	6.67± 0.47	6.7± 0.52	24± 2.83	8.79± 5.21	2± 0.35	155± 5	45.67±0.58
21	35	1450	40	80	100	7± 0.82	5.33± 0.41	23.97± 0.78	8.27± 4.55	1.78± 0.09	144.5± 4.5	41.67±0.58
22	35	1250	40	80	60	7 ±0.82	6.72 ±0.29	22±1.62	27.24±3.02	1.52 ±0.19	110±10	80.33±1.15
23	15	1450	40	80	60	6.83± 0.62	7.28± 0.29	25.33± 1.25	15.21± 9.65	2.19± 0.16	145± 5	46.33±1.15
24	15	1250	20	80	60	7± 0.82	8.21± 0.15	24.83± 0.62	10.25± 5.73	1.92± 0.31	152.5± 2.5	45.00±0.00
25	35	1450	20	80	60	7± 0.82	14.17± 0.25	25± 0.82	10.87± 5.81	2.48± 0.35	145± 5	62.67±2.31
26	25	1350	30	50	80	6.67± 0.47	6.99± 0.1	26.33± 1.25	9.74± 5.43	1.98± 0.35	170± 10	61.33±1.15
27	5	1350	30	70	80	6.33± 0.47	12.02± 0.19	27.56± 0.55	10.04± 5.41	2.18± 0.34	179.5± 0.5	66.07±0.58
28	25	1350	30	90	80	6.67± 0.47	5.55± 0.18	30.67± 2.05	14.01± 8.16	2.44± 0.23	220± 10	77.00±4.58

*Nota:* Control: Pasta comercial con contenido de Quinoa y avena; X1: Temperatura del agua(°C), X2: cantidad de agua(ml), X3: tiempo de mezclado (min), X4; temperatura de secado (°C), X5: tiempo de mezclado (min). Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ). Los datos son las medias de tres experimentos independientes  $\pm$  desviaciones estándar ( $n = 3$ ).

### **3.2.3. Rendimiento de cocción**

El rendimiento de cocción y el índice de hinchamiento describen la capacidad de hinchazón de los fideos, la tabla 3 muestra los resultados de rendimiento de cocción. Se encontró un efecto de interacción cuadrática significativo ( $X^3X^5$ ) negativo solo a 30 min y 80°C, es decir, si se baja los valores el rendimiento incrementará, si se aumenta el rendimiento se mantendrá constante, en ambos casos respectivamente. El modelo matemático tiene un coeficiente de determinación ( $R^2= 0.84$ ) para la respuesta de rendimiento de cocción donde el valor 3.29 % fue para el patrón y 6.56-27.24%, para 28 grupos experimentales. Resultados muy inferiores de 3.45% reportaron Mirhosseini et al., (2015) confiriéndole el rol importante a la presencia completa de la quinua al dar estabilidad a la red polimérica de atrapamiento de carbohidratos (gránulos de almidón), lo cual afecta la calidad de la pasta durante la cocción. Estos valores se encuentran dentro del estudio de Kasunmala et al., (2020), encontró que, valores altos de rendimiento a medida que aumenta la temperatura de la masa, registrándose valor óptimo a los 85°C de extrusión.

### **3.2.4. Índice de hinchazón e índice absorción de agua**

El índice de hinchamiento e índice de absorción de agua, se utilizan para estimar las características funcionales de la pasta. Esta característica muestra la capacidad de la unión del agua (factor limitante) con un producto; siendo el proceso importante la gelatinización de extrusión, que se presentan en los componentes de almidón en los alimentos (Lorusso et al., 2017; Vijayakumar & Boopathy, 2014). En este estudio se encontraron los términos de IH y AA; donde la absorción de agua no tuvo efecto significativo con los factores de estudio. Por otro lado, se encontró un modelo significativo en los términos de IH como término lineal ( $X^1X^5$ ,  $X^4X^5$ ) de la variable dependiente, que tuvieron efecto significativo positivo, es decir, si incrementa estos términos incrementa el índice de hinchazón. El modelo que se ajusta fue el modelo lineal con un coeficiente de determinación ( $R^2= 0.99$ ).

Pese al efecto no significativo que se tuvo para AA se tiene valores de 109% para el control y 130-175% valores muy por encima para grupos experimentales M6, M11, M12, M19 (Ver tabla 2). Sobota & Zarzycki, (2013); Torres et al., (2021) manifestaron que la capacidad de absorción también se ve afectada por el contenido de fibra, proteínas (aminoácidos polares), calidad de gluten y fuerza de red de proteínas lo que explica los altos valores; este aumento de absorción de agua, presenta la propiedad de hidratación y de formación de gel de proteínas, donde los enlaces de hidrógeno del

almidón son complicados de romper a temperaturas bajas de gelatinización, reduciendo así la tasa de absorción de agua. Sin embargo, la falta de significancia, podría atribuirse a la formulación precisa de la receta y el control de humedad en el proceso de elaboración.

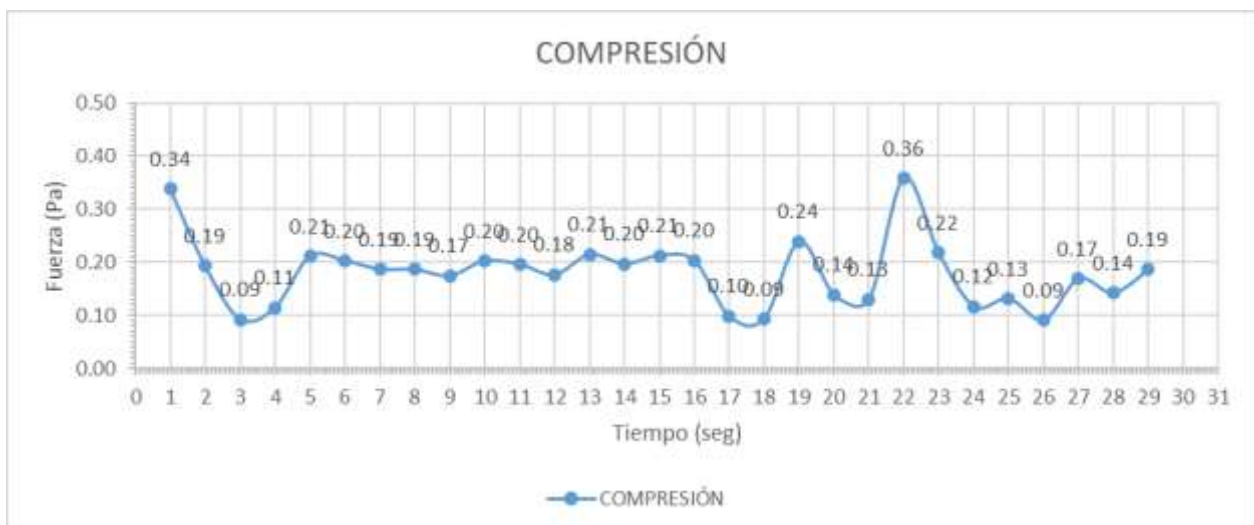
Por el contrario, Linares-García et al., (2019) atribuye el índice de hinchamiento, a la capacidad de unión al agua y gelificante de la proteína. Se informó que la proteína de quinua tiene una buena propiedad de gelificación y forma un gel por agregación de las moléculas de proteína desplegadas seguido de la formación de cadenas de los agregados y luego la unión de estas cadenas en la estructura tridimensional, lo que explicaría el resultado Torres et al., (2021). Para ambos casos los resultados estuvieron dentro de los estudios mencionados con lo anteriores autores.

### 3.3. Análisis de Textura (Fuerza de compresión)

En la pasta sin gluten, el almidón juega un papel crítico en la textura (Pa), debido a la estructura macromolecular. Así mismo ésta se ve afectada por la materia prima y las condiciones de procesamiento. La quinua contiene 60% almidón, de los cuales 11% es amilosa en comparación con el 25% que tiene el trigo; por lo que se refleja este en nuestros resultados explicando así el valor (Guo et al., 2020).

Figura 1

*Textura en unidades de Pa; iniciando con el patrón y los 28 tratamientos sucesionados en orden de izquierda a derecha.*



*Nota: Para la conversión de fuerza a unidades de presión, se realizó en función del diámetro del aste metálico utilizado, para luego calcular el área y se muestra la gráfica que se muestra.*

La figura 1 presenta la fuerza de compresión requerida en el tiempo para la ruptura de la pasta tras la cocción, donde se puede observar que el uso de quinua afectó significativamente y con éxito ( $R^2=0.88$ ) en términos de Fuerza de compresión lineal (X5), producto cruzado (X1X4, X1X5, X2X5, X2X3, X2X5, X3X4, X4X5). Utilizando los coeficientes la ecuación del modelo 2Fi para fuerza de compresión, con un valor estadísticamente significativo y positivo. Este valor de la muestra patrón de 34 Pa, correspondiente a la fuerza requerida para comprimir pasta entre los dientes, respecto a los grupos experimentales M2, M16, M17, M19, M20 M 25 fueron los valores más bajos y M4, M12, M18 Y M21 tuvieron dentro del rango. En general puede atribuirse al aumento de la concentración de proteínas; el segundo a la modificación causada en la red de proteínas por la proteólisis, según (Lorusso et al., (2017); Torres et al., (2021). Estas características de compresión en la textura de la pasta aún necesitaban ser mejoradas con la incorporación de proteínas de otras fuentes que son capaces de formar una red o dar estabilidad a la pasta por otros mecanismos. Por ello se considera que, al aumentar de temperatura, la textura expresada en unidades de Pa incrementa.

**Tabla 3**

*Características de color de pasta cruda y cocida con factores de estudios respectivo.*

Tratamiento	Respuesta					COCIDA				CRUDA			
	X1	X2	X3	X4	X5	L	a*	b*	ΔE	L	a*	b*	ΔE
Patrón	-	-	-	-	-	53.51±0.98	0.39±0.18	10.91±0.31	-	35.5±0.15	3.54±0.67	17.04±1.34	-
1	35	1250	20	60	60	51.05±0.57	3.2±0.31	14.67±0.56	5.30	33.47±1.02	7.78±1.19	26.03±1.28	10.15
2	35	1450	40	60	60	52.07±1.61	3.03±0.32	14.11±0.14	4.39	34.05±1.15	8.21±0.76	23.41±1.07	8.03
3	35	1250	40	60	100	50.2±0.18	3.19±0.23	13.32±1.04	4.96	34.58±1.01	8.66±1.01	25.71±1.34	10.11
4	15	1250	40	60	60	54.16±0.48	1.87±0.45	12.17±1.5	2.05	35.99±1.27	7.72±0.88	20.35±1.2	5.35
5	15	1450	40	60	100	48.74±1.01	3±0.52	14.29±0.78	6.41	41.43±1.41	8.4±0.69	22.17±1.72	9.23
6	15	1250	20	60	100	43.32±0.85	3.62±0.31	14.04±0.6	11.14	45.82±2.2	8.02±0.67	24.26±0.86	13.37
7	35	1450	20	60	100	47.93±0.59	3.12±0.37	13.7±0.27	6.81	35.86±1.74	8.15±0.13	21.99±0.12	6.77
8	15	1450	20	60	60	50.95±0.96	2.96±0.32	13.67±0.41	4.56	37.84±1.03	8.59±0.38	21.85±1.58	7.36
9	25	1350	30	70	120	51.25±0.1	3.05±0.65	14.26±0.97	4.84	39.11±0.77	8.31±0.65	22.05±1.4	7.80
10	25	1350	50	70	80	52.95±0.74	2.22±0.14	11.89±0.51	2.15	40.71±0.31	8.09±0.38	22.29±1.13	8.69
11	45	1350	30	70	80	50.48±0.72	2.53±0.15	11.9±0.51	3.85	39.57±1.66	8.64±0.53	23.32±1.46	9.06
12	25	1150	30	70	80	51.97±0.62	2.41±0.42	12.45±0.83	2.98	43.19±0.97	7.63±0.21	23.72±0.54	10.98
13	25	1550	30	70	80	52.58±0.82	2.55±0.58	14.25±1.36	4.09	46.1±2.38	8.26±0.4	24±0.83	13.53
14	25	1350	30	70	80	53.43±1.01	2.44±0.29	12.95±0.81	2.90	42.59±1.68	7.6±1.01	19.13±0.84	8.43
15	25	1350	30	70	80	44.67±0.28	3.36±0.57	11.86±1.94	9.38	35.49±0.64	8.64±0.28	23.68±1.62	8.38
16	25	1350	10	70	80	50.77±0.48	3.18±0.18	13.8±0.63	4.87	36.86±0.95	8.66±0.15	22.38±0.62	7.52

17	25	1350	30	70	40	51.56±0.49	2.66±0.46	10.94±0.82	2.99	35.06±0.51	8.66±0.68	23.04±1.62	7.90
18	35	1250	20	80	100	51.66±0.44	3.35±0.43	14.72±0.75	5.17	48.09±0.49	8.61±0.92	24.73±0.36	15.60
19	15	1450	20	80	100	48.03±0.58	3.55±0.4	14.86±0.11	7.46	37.33±1.02	9.28±0.55	24.22±1.47	9.38
20	15	1250	40	80	100	43.81±0.15	4.61±0.71	13.53±0.2	10.90	36.56±0.6	9.2±0.33	24.12±0.54	9.13
21	35	1450	40	80	100	50.38±0.77	3.1±0.12	13.7±0.57	4.99	34.58±2.35	8.36±0.99	25.69±1.31	9.95
22	35	1250	40	80	60	46.17±0.67	3.77±0.21	14.06±1.23	8.67	34.91±1.06	8.13±0.47	23.12±0.93	7.64
23	15	1450	40	80	60	44.16±0.43	3.28±0.07	11.19±1.06	9.79	38.05±1.59	7.89±0.57	21.51±0.1	6.74
24	15	1250	20	80	60	52.76±0.59	2.94±0.16	14.75±0.47	4.67	38.11±1.69	7.84±0.57	21.36±0.05	6.63
25	35	1450	20	80	60	50.61±0.68	4.46±0.16	16.05±0.37	7.17	36.88±0.65	10.88±0.38	27.49±0.49	12.85
26	25	1350	30	50	80	51.99±0.89	2.82±0.66	14.47±1.16	4.57	34.36±1.3	7.96±0.8	24.74±1.81	8.95
27	5	1350	30	70	80	47.53±0.82	3.18±0.54	14.71±0.68	7.62	36.31±1.08	9.5±0.34	24.31±0.72	9.43
28	25	1350	30	90	80	31.09±1.2	11.55±0.09	30.54±0.78	31.82	19.01±0.76	13.19±2.05	39.67±1.13	29.62

*Nota:* X1: Temperatura del agua(°C), X2: cantidad de agua(ml), X3: tiempo de mezclado (min), X4; temperatura de secado (°C), X5: tiempo de mezclado (min). Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ). Los datos son las medias de tres experimentos independientes  $\pm$  desviaciones estándar ( $n = 3$ ).

### 3.4. Color

El color, un papel efectivo en la apariencia de la pasta que influye en la decisión del consumidor de comprar o no el producto. Los valores de color en términos de  $a^*$  (rojo (+) / verde (-)),  $L^*$  (negro (0) / blanco (100)) y  $b^*$  (amarillo (+) / azul (-)) de pasta cruda y cocida se muestran en la tabla 3 . El valor  $L^*$  de la pasta control fue más alto (53.51 para la pasta cocida y 35.5 para cruda), que disminuyó significativamente ( $p < 0.05$ ) a valores ( $L^* > 19$  y  $L^* > 31$ ), para pasta cocida y cruda respectivamente. Así mismo se identificó un efecto principal de interacción con la temperatura de secado, es decir, si se trabaja valores mayores,  $L$  tiene valores bajos y se observó una tendencia contraria para  $a^*$  y  $b^*$ . El modelo encontrado fue el modelo cuadrático con un  $R^2$  de 0.75;0.7578 y 0.69 respectivamente. Esta disminución del valor  $L$ , y aumento de  $a^*$  y  $b^*$  en la pasta cruda puede ser corroborados por otros estudios como Torres et al., (2021) que refirió valores de ligereza bajos (46.04 y 43.12 para pasta cruda y cocida) después de la adición de amaranto, quinua y trigo, atribuyendo al contenido de fibra, cenizas y propiedades de color de la harina. Con respecto a la coordenada  $a^*$  y  $b^*$  para la muestra control se tiene (0.39, 3.54 y 10.91, 17.04) respectivamente pasta cocida y cruda, se registraron resultados similares, que indica una disminución de la amarillez de la pasta, sin embargo, se le atribuyen al color característico de la harina de quinua, al efecto de la extrusión en frío y el secado en el perfil de color de la pasta alimenticia (Mirhosseini et al., 2015). Así mismo Baah et al., (2022); Bhatt & Gupta, (2023) encontraron valores de ligereza más bajos en la pasta tras la adición de polvo de pescado, aislado de proteína de pangas, respectivamente. Estos cambios se debieron al efecto del aumento de la concentración de almidón, el tiempo y la temperatura de reacción (Sosa et al., 2019).

Por otro lado, los valores de menor a mayor serían  $a^*$  cocida  $<$   $a^*$ crudo,  $b^*$ cocido  $<$ ,  $b^*$ crudo,  $L$  crudo  $<$   $L$  cocido, lo cual nos hace entender la influencia de la temperatura de secado, en la disminución de los valores  $a^*$  y  $b^*$  de la pasta cruda a la cocida y el aumento de valor  $L$ , tras el incremento de temperatura. Por ende, se presentó efectos principales, estadísticamente significativos positivos para valores  $L$  y negativos para  $a^*$  y  $b^*$ . El mejor modelo ajustado fue el cuadrático para la pasta cocida con un  $R^2$  de 0.71, 0.74, 0.68, respectivamente.

Así mismo se calcularon las diferencias de color totales ( $\Delta E^*$ ) para los tratamientos que contenían harina de quinua en relación al control. El valor óptimo de  $\Delta E^*$  se obtuvo para el tratamiento 12, ya que además de un óptimo valor de la diferencia de color, tiene buena apariencia general, libre de burbujas que se asemeja a una pasta comercial. Esta diferencia de color en pastas puede ser relacionados con las condiciones de

procesamientos, la presencia de ingredientes específicos y demás factores. Por ello se considera que al aumentar de temperatura L disminuye, y los valores  $a^*$  y  $b^*$  incrementan en pastas crudas y cocidas.

### **3.5. Optimización del rendimiento**

Las muestras se analizaron en términos de calidad de cocción y se compararon con la muestra control. La optimización se realizó minimizando la pérdida de cocción, y maximizando la ganancia de masa, al mismo tiempo, para mantener el color, textura normal. Las condiciones óptimas de X1, X2, X3, X4 y X5 fueron 25 °C, 1150 ml, 30 minutos, 70°C y 80 minutos respectivamente, donde tuvo 7 minutos como TOC, 2.46 % de PC, 23.67 % ganancia de peso, 7.99 % rendimiento de cocción, 1.9 IH, 135 % AA y 78% en el rendimiento final del proceso.

**Tabla 4***Composición nutricional de la pasta optimizada (por 100 g)*

Composición en 100 g de producto		
	Quinoa	Control
Energía (Kcal)	392	295
Humedad	12.11 g	12.2 g
Proteínas	12.2 g	10.7 g
Grasas	9.11 g	0.53g
Carbohidrato	70.77 g	74.8 g
Fibra	4.3 g	1.54 g

Los resultados del análisis nutricional de la pasta a base de quinua optimizada y de la muestra de control se muestran en la tabla 4. Se observa una diferencia significativa ( $P < 0,05$ ). Los contenidos de proteína, grasa y fibra de la pasta de quinua evaluados fueron comparativamente mucho más altos, es decir, 12,2, 9,11 y 4,75 g/100 g, respectivamente, en comparación con la pasta control.

La fibra dietética total casi se duplicó en la pasta de quinua, lo que la hace significativamente ( $P < 0,05$ ) diferente con respecto al control. Estos altos valores nutricionales se atribuyeron a la naturaleza rica en nutrientes de la quinua, lo que finalmente resultó en un producto lleno de nutrientes y además libre de gluten, lo que los convierte en una formidable alternativa de alimento para los pacientes celíacos y aquellos que son sensibles al gluten (Pellegrini et al., 2003). La fibra dietética total fue de aproximadamente 4.3 g/100 g en la pasta optimizada en comparación con 1,54 g/100 en la muestra de control. Esta variación es esperable considerando mayor contenido de fibra de las semillas de quinua en comparación con el trigo duro. Además, debido a las condiciones ambientales, existe una variación notable en el contenido de fibra dietética de este pseudocereal (quinua), siendo menor la cantidad de fibra dietética soluble que la de fibra dietética insoluble (Repo-Carrasco et al., 2006).

#### 4. CONCLUSIONES

De los resultados se puede concluir que la inclusión de grits de quinoa laminadas al 100% en pasta fue determinante donde aumentó el contenido de proteínas, disminuyó el tiempo óptimo de cocción, aumentó sus valores de Pérdida de cocción, ganancia de masa y rendimiento de cocción.

Así como las propiedades tecnológicas incrementaron los valores de absorción de agua, índice de hinchamiento, sin embargo, el valor L disminuye, y los valores  $a^*$  y  $b^*$  incrementaron, la firmeza estuvo en el rango respecto a la muestra patrón desde 0.09 Pa -0.36 Pa. Estos resultados se reflejan al final en el rendimiento del proceso con 78%, que revelan la interacción de quinua entre las moléculas de proteína y almidón. Así mismo se logró optimizar las variables de procesamiento a partir de la combinación de 5 variables independientes a 25°C (X1): 1150 ml (X2): 30 min (X3): 70 °C (X4) y 80 min (X5) respectivamente. Por ende, la pasta de quinoa podría ser una opción potencial para producir pasta de alta calidad, con adecuadas propiedades tecnológicas, textura, propiedades nutricionales y funcionales mejoradas.

## 5. REFERENCIAS

- AACC. (2009). Pasta and Noodle Cooking Quality--Firmness. In *AACC International Approved Methods*. AACC International. <https://doi.org/10.1094/AACCIntMethod-66-50.01>
- Abugoch, L. E., Romero, N., Tapia, C. A., Silva, J., & Rivera, M. (2008). Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) protein isolates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(12), 4745–4750. <https://doi.org/10.1021/jf703689u>
- Baah, R. O., Duodu, K. G., & Emmambux, M. N. (2022). Cooking quality, nutritional and antioxidant properties of gluten-free maize – Orange-fleshed sweet potato pasta produced by extrusion. *LWT*, *162*, 113415. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.113415>
- Bhatt, S., & Gupta, M. (2023). Formulation of instant noodles incorporated with insoluble dietary fiber from fruit peel: in vitro starch digestibility, biophysical, structural and textural characteristics. *Applied Food Research*, 100326. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2023.100326>
- Brandolini, A., Lucisano, M., Mariotti, M., & Hidalgo, A. (2018). A study on the quality of einkorn (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) pasta. *Journal of Cereal Science*, *82*, 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.05.010>
- Dakhili, S., Abdolalizadeh, L., Hosseini, S. M., Shojaei-Aliabadi, S., & Mirmoghtadaie, L. (2019). Quinoa protein: Composition, structure and functional properties. In *Food Chemistry* (Vol. 299). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125161>
- Demir, B., & Bilgiçli, N. (2021). Utilization of quinoa flour (*Chenopodium quinoa* Willd.) in gluten-free pasta formulation: Effects on nutritional and sensory properties.

*Food Science and Technology International*, 27(3), 242–250.

<https://doi.org/10.1177/1082013220940092>

- Garcia-Valle, D. E., Bello-Pérez, L. A., Agama-Acevedo, E., & Alvarez-Ramirez, J. (2021). Effects of mixing, sheeting, and cooking on the starch, protein, and water structures of durum wheat semolina and chickpea flour pasta. *Food Chemistry*, 360, 129993. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.129993>
- Gull, A., Prasad, K., & Kumar, P. (2018). Nutritional, antioxidant, microstructural and pasting properties of functional pasta. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2), 147–153. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2016.03.002>
- Guo, X. N., Wu, S. H., & Zhu, K. X. (2020). Effect of superheated steam treatment on quality characteristics of whole wheat flour and storage stability of semi-dried whole wheat noodle. *Food Chemistry*, 322. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126738>
- Huang, R., Huang, K., Guan, X., Zhang, J., & Zhang, P. (2022). Incorporation of defatted quinoa flour affects in vitro starch digestion, cooking and rheological properties of wheat noodles. *Journal of Cereal Science*, 108, 103542. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2022.103542>
- Kamali Roustafard, L., Pouya Ghandehari Yazdi, A., Khorasani, S., Tavakoli, M., Ahmadi, Z., & Amini, M. (2021). Optimization of novel multigrain pasta and evaluation of physicochemical properties: using D-optimal mixture design. *Food Science & Nutrition*, 9(10), 5546–5556. <https://doi.org/10.1002/FSN3.2514>
- Kasunmala, I. G. G., Navaratne, S. B., & Wickramasinghe, I. (2020). Effect of process modifications and binding materials on textural properties of rice noodles. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100217>

- Khatri, M., Singh, A., Singh, R., Kamble, D. B., Dar, A. H., & Sharma, A. (2023). Optimization and evaluation of quinoa and chia based gluten free pasta formulation. *Food and Humanity*, 1, 174–179.  
<https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2023.05.009>
- Leonard, M. M., Sapone, A., Catassi, C., & Fasano, A. (2017). Celiac disease and nonceliac gluten sensitivity: A review. In *JAMA - Journal of the American Medical Association* (Vol. 318, Issue 7, pp. 647–656). American Medical Association.  
<https://doi.org/10.1001/jama.2017.9730>
- Li, Y., Chen, Y., Li, S., Gao, A., & Dong, S. (2017). Structural changes of proteins in fresh noodles during their processing. *International Journal of Food Properties*, 20, S202–S213. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1295253>
- Linares-García, L., Repo-Carrasco-Valencia, R., Paulet, P. G., & Schoenlechner, R. (2019). Development of gluten-free and egg-free pasta based on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) with addition of lupine flour, vegetable proteins and the oxidizing enzyme POx. *European Food Research and Technology*, 245(10), 2147–2156. <https://doi.org/10.1007/S00217-019-03320-1/TABLES/6>
- Lorenzo, G., Sosa, M., & Califano, A. (2018). Alternative Proteins and Pseudocereals in the Development of Gluten-Free Pasta. In *Alternative and Replacement Foods* (Vol. 17, pp. 433–458). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811446-9.00015-0>
- Lorusso, A., Verni, M., Montemurro, M., Coda, R., Gobbetti, M., & Rizzello, C. G. (2017). Use of fermented quinoa flour for pasta making and evaluation of the technological and nutritional features. *LWT*, 78, 215–221.  
<https://doi.org/10.1016/J.LWT.2016.12.046>

- Mirhosseini, H., Abdul Rashid, N. F., Tabatabaee Amid, B., Cheong, K. W., Kazemi, M., & Zulkurnain, M. (2015). Effect of partial replacement of corn flour with durian seed flour and pumpkin flour on cooking yield, texture properties, and sensory attributes of gluten free pasta. *LWT*, 63(1), 184–190.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.078>
- Pellegrini, N., Serafini, M., Colombi, B., Rio, D. Del, Salvatore, S., Bianchi, M., Brighenti, F., & Antioxidant, \*. (2003). Nutrient Requirements Total Antioxidant Capacity of Plant Foods, Beverages and Oils Consumed in Italy Assessed by Three Different In Vitro Assays 1. In *J. Nutr* (Vol. 133).  
<https://academic.oup.com/jn/article-abstract/133/9/2812/4688193>
- Rani, S., Singh, R., Kamble, D. B., Upadhyay, A., & Kaur, B. P. (2019). Structural and quality evaluation of soy enriched functional noodles. *Food Bioscience*, 32.  
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100465>
- Repo-Carrasco, R., Espinoza, C., & Jacobsen, S. E. (2006). Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). [Http://Dx.Doi.Org/10.1081/FRI-120018884](http://Dx.Doi.Org/10.1081/FRI-120018884), 19(1–2), 179–189.  
<https://doi.org/10.1081/FRI-120018884>
- Schoenlechner, R., Drausinger, J., Ottenschlaeger, V., Jurackova, K., & Berghofer, E. (2010). Functional Properties of Gluten-Free Pasta Produced from Amaranth, Quinoa and Buckwheat. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(4), 339–349.  
<https://doi.org/10.1007/s11130-010-0194-0>
- Sobota, A., & Zarzycki, P. (2013). Effect of Pasta Cooking Time on the Content and Fractional Composition of Dietary Fiber. *Journal of Food Quality*, 36(2), 127–132.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfq.12023>

Sosa, M., Califano, A., & Lorenzo, G. (2019). Influence of quinoa and zein content on the structural, rheological, and textural properties of gluten-free pasta. *European Food Research and Technology*, 245(2), 343–353.

<https://doi.org/10.1007/s00217-018-3166-5>

Talens Oliag P. (2016). *Caracterización de las propiedades mecánicas de alimentos mediante análisis de perfil de textura.*

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

<https://doi.org/10.1155/2021/8813354>

Vijayakumar, T. P., & Boopathy, P. (2014). Optimization of ingredients for noodle preparation using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 51(8), 1501–1508. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0641-z>

Yan, M. J., Li, Y. L., Li, H. M., Yi, X., Sun, Y. L., & Zhao, L. (2020). Optimization of Processing Technology of Noodle with High Content Coarse Grains. *Modern Food Science and Technology*, 36(11), 188–195. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.11.0550>

## 6. ANEXO

### Anexo1: Evidencia de Sumisión del artículo en una revista de prestigio

**Heliyon**  
**Technological and textural properties of gluten-free quinoa-based pasta (Chenopodium QuinoaWild)**  
 --Manuscript Draft--

<b>Manuscript Number:</b>	HELIYON-D-23-53803
<b>Article Type:</b>	Original Research Article
<b>Section/Category:</b>	Life Sciences
<b>Keywords:</b>	Quinoa, cooking quality, texture, gluten free
<b>Manuscript Classifications:</b>	70.110: Food Engineering; 70.120: Food Technology; 70.130: Food Quality; 70.150: Food Processing; 70.170: Food Analysis; 70.180: Food Composition; 70.190: Food Chemistry; 70.200: Nutrition; 70.210: Consumer Sensory Research
<b>Corresponding Author:</b>	Edgar Mayta-Pinto Universidad Peruana Unión Juliaca, San Román PERU
<b>First Author:</b>	Edgar Mayta-Pinto
<b>Order of Authors:</b>	Edgar Mayta-Pinto Ysenia Mirian Itusaca-Maldonado Carmen Rosa Apaza-Humerez Augusto Pumacahua-Ramos
<b>Abstract:</b>	La quinua ( <i>Chenopodium quinoa wild</i> ) es un grano andino con una perfecta composición nutricional que, al diversificar su transformación, se convierte en una alternativa atractiva para los consumidores que buscan una alimentación saludable de alta calidad y con una fuente de proteínas vegetales. El objetivo de este trabajo fue elaborar y evaluar las propiedades tecnológicas y texturales de la pasta de quinua en su totalidad, a través del Diseño Central Compuesto en Estrella (CCD) de 5 variables de proceso que fueron; Temperatura del agua (°C), Calidad del agua (Ml), Tiempo de mezcla (Min), Temperatura de secado (°C) y Tiempo de secado (min) con 5 niveles cada uno. Al mismo tiempo se estudió el rendimiento y la buena calidad de cocción para la optimización del proceso. En el modelo de la ecuación para la respuesta del tiempo de cocción se mostró influencia negativa y significativa de la temperatura de secado. Por otro lado, para la pérdida por cocción, la ganancia de masa, los valores a* y b* y la textura tuvieron valores altos si se aumenta el tiempo de secado; Por el contrario, el valor L disminuye, lo que resultó ser positivamente significativo. Mientras que el índice de hinchamiento sólo fue significativamente positivo dentro de las propiedades tecnológicas. Además, se encontró que las condiciones óptimas para la producción de pasta de calidad fueron a 25°C: 1150 ml: 30 min: 70 °C y 80 min respectivamente y con una deseabilidad de 0,883. Como resultado de la preparación de pasta con quinua, el tiempo de cocción fue de 7 min, pérdida de cocción 2.46 g/g, ganancia de masa 23.6 g/g, rendimiento de cocción 7.99%, índice de hinchamiento 2.9%, absorción de agua 135%, proteína 12.71 g y 0.21 Pa en textura, siendo estos resultados consistentes con las investigaciones citadas. Asimismo, la blancura fue de 51.97, para el valor a* 2.41, y b* 12.45, todo este análisis se refleja en el rendimiento final del proceso en 78%. . En conclusión, los resultados indicaron que, optimizando las condiciones en la producción de pasta de quinua libre de gluten, es posible obtener un producto libre de gluten con alto valor agregado, excelente calidad de cocción, adecuadas propiedades tecnológicas, textura y color aceptables para el consumidor.
<b>Suggested Reviewers:</b>	
<b>Opposed Reviewers:</b>	
<b>Additional Information:</b>	
<b>Question</b>	<b>Response</b>
<b>Publication ethics</b>	I confirm

*Powered by Editorial Manager® and Production Manager® from Aries Systems Corporation*

Please confirm that you have reviewed our guidelines for [Ethics in Publishing](#) as well as Heliyon's [Ethics and Editorial Policies](#).

## Anexo 2: Copia de Resolución de Inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0706-2023/UPeU-FIA-CF-I

Lima, Naña, 28 de noviembre de 2023

### VISTO:

El expediente del (de la) bachiller **Yisenia Mirian Itusaca Maldonado** identificado(a) con código universitario N° 201712175, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

### CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Propiedades tecnológicas y de textura de pasta sin gluten a base de quinua (Chenopodium Quinoa Willd)", presentado por el(la) bachiller **Yisenia Mirian Itusaca Maldonado**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 28 de noviembre de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

### SE RESUELVE:

1. Declarar expedito al (a) bachiller **Yisenia Mirian Itusaca Maldonado**, para que sustente la tesis en formato artículo titulada "Propiedades tecnológicas y de textura de pasta sin gluten a base de quinua (Chenopodium Quinoa Willd)", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero de Industrias Alimentarias, el 11 de diciembre de 2023, a las 11.00 horas, en el Auditorio Wellesley Muir.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Ing. Joel Jerson Coaquira Quispe  
Secretario: Ing. Enrique Mamani Cuela  
Asesor: Mg. Edgar Mayta Pinto  
Vocal 1: MSc. Carmen Rosa Apaza Humerez

Regístrese, comuníquese y archívese.



  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
DECANA



  
Mg. Ketty Magaly Arellano Lino  
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:  
-Interesado  
-Jurado (04)  
-Secretaría General  
-Archivo

Anexo 4: Imágenes de 28 grupos experimentales

