

# Evaluation of the moisture percentage of gluten-free pasta mix from hyperprotein quinoa flour and its effect on cooking characteristics and color in the final product.

Evaluación del porcentaje de humedad de la mezcla de pasta sin gluten a partir de harina de quinua hiperproteica y su efecto sobre las características de cocción y color en el producto final.

Astrid Carolina Vanegas Guilombo <sup>1,\*</sup> , José Fernando Solanilla Duque <sup>1</sup> , Diego Fernando Roa Acosta <sup>1</sup> , Jhon Edison Nieto Calvache <sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Universidad del Cauca; [astridvanegas@unicauca.edu.co](mailto:astridvanegas@unicauca.edu.co)

<sup>1</sup> Universidad del Cauca; [jsolanilla@unicauca.edu.co](mailto:jsolanilla@unicauca.edu.co)

<sup>1</sup> Universidad del Cauca; [droa@unicauca.edu.co](mailto:droa@unicauca.edu.co)

<sup>2</sup> Universidad de los Llanos; [jhonnieto@unillanos.edu.co](mailto:jhonnieto@unillanos.edu.co)

\* Correspondencia: [astridvanegas@unicauca.edu.co](mailto:astridvanegas@unicauca.edu.co)

Recibido: 01/15/2024

Aceptado: 02/02/2024

Fecha de Publicación: 27/11/2024



Derechos de autor: © 2024

**Resumen:** La hidratación durante el mezclado en la elaboración de pasta es de gran importancia, ya que permite obtener una masa uniforme, que le otorgara unas características finales deseables al producto en términos de textura, resistencia y color [1]. En esta investigación, se evaluaron diferentes porcentajes de humedad (45, 37, 35, 30%) en las propiedades finales de la pasta, en cuanto a pruebas de cocción y de color. También, se evaluaron dos modelos matemáticos en la etapa de secado para determinar cuál se ajustaba mejor a los datos experimentales. Los resultados arrojaron que el modelo que mejor se ajustó, fue el de Page y específicamente en la mezcla de 30% de humedad, en donde se encontraron los valores más altos de regresión lineal ( $R^2$ ) y constante de secado ( $k$ ). En las pruebas de cocción, se encontró que fue la mezcla con una humedad del 30%, quien presento los valores más bajos de perdidas por cocción e incremento en peso. Finalmente, en la prueba de color se obtuvieron los valores más bajos en la coordenada  $a^*$  y más altos en la coordenada  $b^*$  y  $L^*$  en la mezcla con una humedad del 30%, resultados que son propios de la harina de quinua.

**Palabras clave:** Pasta, humedad, modelos matemáticos, pruebas de cocción, harina de quinua.

**Abstract:** Hydration during mixing in the preparation of pasta is of great importance since it allows for obtaining a uniform dough, which will give desirable final characteristics to the product in terms of texture, strength, and color [1]. In this research, different moisture percentages (45, 37, 35, and 30%) were evaluated on the final properties of the dough, in terms of baking and color tests. Also, two mathematical models were evaluated at the drying stage to determine which one best fit the experimental data. The results showed that the best-fitting model was Page's model, specifically in the 30% moisture mix, where the highest values of linear regression ( $R^2$ ) and drying constant ( $k$ ) were found. In the baking tests, it was found that it was the mixture with a moisture content of 30% that presented the lowest values of baking losses and increase in weight. Finally, in the color test, the lowest values were obtained in the  $a^*$  coordinate and the highest in the  $b^*$  and  $L^*$  coordinates in the mixture with a moisture content of 30%, results that are typical of quinoa flour.

**Keywords:** Pasta, moisture, mathematical models, baking tests, quinoa flour.

DOI: <https://doi.org/10.57173/ritc.v1n18a2>

## 1. Introducción

Las pastas se caracterizan por tener un bajo contenido nutricional, cuando en su formulación se utilizan materias primas convencionales como el maíz y el arroz. En los últimos años, se ha venido desarrollando la inclusión de otras materias primas innovadoras ya que las tendencias del mercado agroalimentario exigen productos saludables y ricos en proteínas y demás compuestos que sean benéficos para la salud. Es por ello, que se ha aumentado el interés de incluir las proteínas de origen vegetal como ingrediente funcional en la elaboración de diferentes productos como por ejemplo la pasta [2]. La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) pertenece a la familia Chenopodiaceae, la misma de espinacas y remolacha. El género *Chenopodium* se encuentra en todo el mundo, con aproximadamente 250 especies identificadas. Es una fuente rica de proteínas, aminoácidos esenciales, lípidos, fibras dietéticas, vitaminas B1, B2, B6, C, E y minerales como el calcio, fósforo, hierro y zinc. Posee una alta calidad nutricional y entre sus mayores características se destaca que no contiene gluten, adecuada para los pacientes celíacos o intolerantes a esta proteína [3].

La pasta sin gluten es un desafío en la industria alimentaria, ya que es el gluten quien le imparte las propiedades de textura y cocción al producto. Se han venido realizando modificaciones e inclusiones dentro de la formulación de pasta con el objetivo de encontrar las condiciones óptimas que permitan obtener un producto similar a uno comercial [4]. No solo la elección de la materia prima que sustituya el gluten es importante dentro del proceso de elaboración de pasta, sino también las diferentes condiciones y unidades de proceso. Durante la elaboración se llevan a cabo procesos de mezclado, extrusión, secado y enfriado, que pueden tener un efecto en la calidad del producto, al igual que la humedad de la mezcla, las temperaturas de secado, las condiciones dentro del extrusor y el tiempo de mezclado también pueden llegar a afectar las características finales de la pasta y su aceptación ante el consumidor [5].

Durante la extrusión se aplican diferentes temperaturas, fuerzas de corte, revoluciones, entre otras que provocan una transformación química, estructural y nutricional en la pasta. Es por ello, que los parámetros de alimentación en el extrusor son factores importantes para determinar la calidad del producto final. Dentro de estos factores tenemos la temperatura del cilindro, la velocidad del tornillo y las diferentes humedades de la mezcla, las cuales pueden ocasionar cambios o modificaciones del producto extruido que se obtenga [6]. Por este motivo, el objetivo de este estudio es evaluar 4 valores de humedad relativa de la mezcla llevada al proceso de extrusión para la obtención de pasta larga y su efecto sobre las características finales en cuanto a cocción y color, además de realizar un modelamiento matemático en la etapa de secado, para lograr así obtener un mejor ajuste de los datos.

## 2. Materiales y métodos

El desarrollo de esta investigación tiene como objetivo incentivar a la creación e innovación de nuevos productos agroindustriales, buscando la inclusión de materias primas con alto contenido nutricional, además de evaluar cada etapa del proceso y las condiciones que se utilizan en los mismos, ya que de estas dependen mucho las características finales del producto que se desea obtener. A continuación, se describe la metodología utilizada para la elaboración de pasta de harina de quinua hiperproteica, el proceso de extrusión y secado con sus respectivos modelamientos, incluyendo las características finales de cocción y color de la pasta.

### 2.1. Materiales

Las materias primas utilizadas fueron suministradas por la empresa SEGALCO S.A.S y la goma xantana fue comprada comercialmente. El grano de quinua se sometió a una molienda de tipo abrasiva en un molino de flujo continuo marca MAVIMAR (Capacidad 30 kg/h), con el objetivo de realizar la separación de la fracción almidonosa y la concentrada en proteína, para finalmente obtener la harina de quinua hiperproteica [7]

### 2.2. Mezclado

Para llegar a la formulación óptima de la pasta fue necesario realizar ensayos preliminares (datos no mostrados) y así determinar la cantidad de ingredientes necesarios que permitieran tener una mezcla con al menos el 21% de proteína como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Formulación de pasta larga.

| <b>Materias primas</b>         | <b>Inclusión (%)</b> |
|--------------------------------|----------------------|
| Harina hiperproteica de quinua | 62.00 %              |
| Harina de arroz                | 33.20 %              |
| Almidón de yuca                | 3.70 %               |
| Goma Xantana                   | 1.11 %%              |

Los porcentajes de cada ingrediente se muestran en base húmeda.

\* Los valores están expresados en g/200 g base húmeda.

### 2.3. Extrusión

Se realizaron 4 mezclas a diferentes porcentajes de humedad (45, 37, 35 y 30 %) y se almacenaron en refrigeración a una temperatura de 4°C durante aproximadamente 12 horas. Al transcurrir este tiempo, se llevaron las mezclas a un extrusor de tornillo doble marca Haake PolyLab OS, Alemania. Utilizando las condiciones de velocidad del tornillo de 139 rpm, un perfil promedio de temperaturas de 84°C (75-81-80-90-90-95-75)°C y una boquilla de 1,5 mm.

### 2.4. Secado

Las pastas fueron secadas en una cámara climática marca Binder, modelo KBF-S 240-UL, Alemania a una temperatura de 30°C y humedad relativa del 60%. Para cada una de las 4 mezclas se tomaron los pesos cada 10 minutos durante el proceso de deshidratación, hasta obtener una humedad relativa inferior al 15%. A partir de estos datos, se realizó el cálculo de la razón de humedad ecuación (1) y el modelamiento matemático de Page y Logarítmico según las ecuaciones que se muestran en la tabla 2 [8].

$$MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (1)$$

Donde:

**X**= Humedad en base seca en cada momento (Kg agua/Kg b.s.)

**X<sub>0</sub>** = Humedad inicial (Kg agua/Kg b.s.)

**X<sub>e</sub>** = Humedad en equilibrio (Kg agua/Kg b.s.)

**Tabla 2.** Ecuaciones para los modelos de secado de Page y Logarítmico.

| Nombre del modelo | Ecuación                 |
|-------------------|--------------------------|
| Page              | $MR = \exp \exp (-kt^n)$ |
| Logarítmico       | $MR = (-kt) + c$         |

## 2.5. Pruebas de cocción

### 2.5.1. Pérdidas por cocción

Esta prueba consiste en determinar las pérdidas de masa de la pasta gravimétricamente [9], tomando aproximadamente 3 g en un beaker de 50 ml con agua hirviendo durante 5 min. Posteriormente, se toman 3 ml del sobrenadante y se adicionan en cajas de petri para luego llevarlas a un horno (Binder, modelo FD 115-UL, Alemania), durante 12 horas a una temperatura de 90°C y después pesar el material seco y determinar las pérdidas de cocción expresadas como g/100 g de pasta [10].

### 2.5.2. Incremento en peso

Para determinar el incremento en peso de la pasta, se realiza una determinación gravimétrica [11], y así cuantificar la absorción del agua mediante la ecuación (2), como se muestra a continuación:

$$\left( \frac{W1 - W0}{W0} \right) * 100 \quad (2)$$

En donde:

W1: Peso de la pasta cocida

W0: Peso de la muestra cruda

## 2.6. Prueba de color

Se tomaron 20 hebras de cada una de las mezclas de pasta y se realizaron las mediciones de color mediante un colorímetro portátil modelo NR20XE. Los resultados se registraron según las coordenadas de color  $a^*$  y  $b^*$  y  $L^*$  mediante el iluminante D65 y un ángulo de observación de 10°.

## 2.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se evaluaron mediante un análisis de varianza ANOVA con nivel de significancia de  $p=0.05$  y prueba post-hoc de Tukey, utilizando el software Minitab 19, Pensilvania, Estados Unidos. Además del software GraphPad Prism 8.0.1. California, Estados Unidos, para el análisis de los modelos matemáticos y graficas de correlación.

### 3. Resultados y discusión

La cantidad de agua que contenga la mezcla y su debida dispersión dentro de la misma, son parámetros importantes y críticos, ya que la hidratación es una variable que difícilmente se pueda corregir en las siguientes operaciones unitarias. Cuando se realiza una hidratación baja, el producto final puede presentar características indeseables como manchas, las cuales indican una estructura débil y esto provoca que su calidad se vea afectada en términos de apariencia y textura. Mientras que, si se realiza una hidratación excesiva, da como resultado una pasta pegajosa, con poca resistencia mecánica y mala calidad de cocción. Esta condición se vuelve más crítica cuando en la formulación se utilizan materias primas distintas al trigo duro, ya que se hace indispensable optimizar los niveles de hidratación, evitando así que esta pueda afectar no solo las características de la masa, sino también la calidad del producto final [8].

#### 3.1. Modelamiento matemático

El secado es la última operación del proceso de elaboración de pasta y es considerada la parte más crítica, ya que esta le confiere sus características finales en cuanto a estabilidad física, química y permite alargar su vida útil. Dentro del secado, se llevan a cabo diferentes fenómenos al interior de la pasta, los cuales dependen tanto de las características de la materia prima, como de las condiciones de temperatura y humedad antes y durante la etapa del secado [12].

En la tabla 3, se describen los resultados de las constantes obtenidas al realizar la modelación de los datos experimentales del secado en cámara climática de pasta a diferentes porcentajes de humedad en la mezcla, además de su respectiva regresión lineal ( $R^2$ ) y error para cada uno de los modelos.

**Tabla 3.** Coeficientes de los modelos de secado de Page y Logaritmo en cámara climática para mezclas de harina de quinua a diferentes porcentajes de humedad

| Modelo      | Humedad de la mezcla (%) | Parámetros                                                           | $R^2$ | Error |
|-------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| Page        | 45                       | $k = 0.00014 \pm 0.00001$ , $n = 1.6 \pm 0.1$                        | 0.985 | 0.150 |
|             | 37                       | $k = 0.000111 \pm 0.000003$ , $n = 1.81 \pm 0.08$                    | 0.986 | 0.558 |
|             | 35                       | $k = 0.000131 \pm 0.000004$ , $n = 1.85 \pm 0.01$                    | 0.987 | 0.008 |
|             | 30                       | $k = 0.000141 \pm 0.000008$ , $n = 1.826 \pm 0.007$                  | 0.990 | 0.071 |
| Logarítmico | 45                       | $k = 2.2 \pm 0.1$ , $n = 0.0025 \pm 0.0001$ , $c = -1.10 \pm 0.08$   | 0.979 | 0.072 |
|             | 37                       | $k = 2.5 \pm 0.2$ , $n = 0.0019 \pm 0.0001$ , $c = -1.5 \pm 0.1$     | 0.986 | 0.002 |
|             | 35                       | $k = 1.72 \pm 0.04$ , $n = 0.0039 \pm 0.0001$ , $c = -0.65 \pm 0.04$ | 0.981 | 0.003 |
|             | 30                       | $k = 1.84 \pm 0.05$ , $n = 0.0032 \pm 0.0002$ , $c = -0.79 \pm 0.06$ | 0.984 | 0.013 |

Los resultados que se observan en la tabla 3, muestran que el modelo que mejor se ajustó a los datos experimentales fue el de Page, con valores de  $R^2$  que van desde 0.985 a 0.990, además, se evidencia que fue la mezcla con una humedad del 30 % quien presentó el valor más alto en la regresión lineal. Por otra parte, se analiza que en el modelo de Page la constante de secado ( $k$ ) fue mayor en las humedades de 30 y 45%, a diferencia de las constantes en las mezclas con porcentajes de hidratación del 37 y 35 % donde sus valores fueron inferiores. Los resultados de los otros parámetros del modelo de Page no mostraron una tendencia definida. Se encontraron resultados similares en otro estudio, en donde realizaron un secado de pasta enriquecida con espinaca a las temperaturas de 35,

45, 55, 65 y 75°C, observando que fue el modelo de Page, quien presento la mejor cinética de secado para todas las temperaturas y valores más altos de  $R^2$ . También mencionan, que los modelos con valores de error inferiores al 5% indican un ajuste excelente, mientras que los errores superiores al 10 % indican un ajuste deficiente [13].

### 3.2. Pruebas de cocción

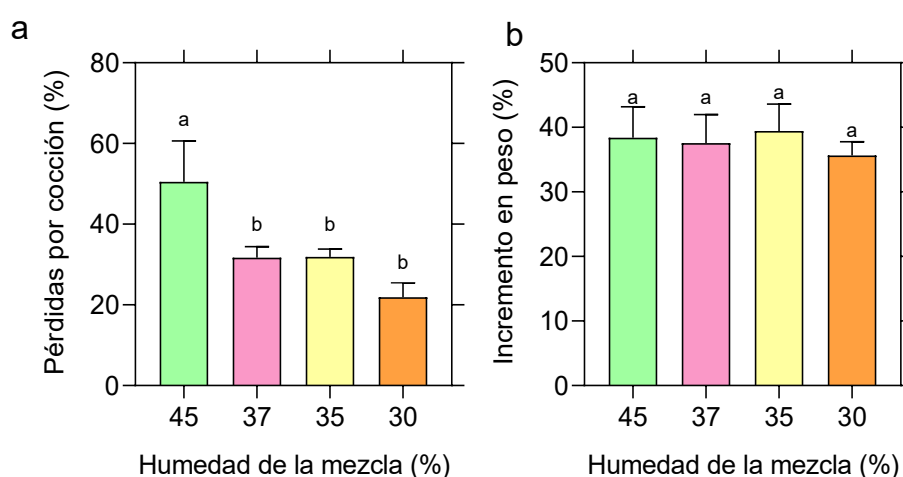
Las pruebas de cocción e incremento en peso son un factor crítico en cualquier producto extruido, estas indican la desintegración del producto durante la cocción [14]. Para el análisis de las propiedades culinarias se realizaron las pruebas de pérdidas por cocción e incremento en peso con sus respectivos análisis estadísticos y comparación por Tukey como se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4.** Valores de pérdidas por cocción e incremento en peso para las pastas secadas en cámara climática con diferentes porcentajes de humedad relativa en la mezcla antes de extrusión\*.

| Pruebas de cocción       | Humedad de la mezcla (%) |                   |                   |                   |
|--------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                          | 45                       | 37                | 35                | 30                |
| Pérdidas por cocción (%) | 50±9 <sup>a</sup>        | 32±2 <sup>b</sup> | 32±1 <sup>b</sup> | 22±3 <sup>b</sup> |
| Incremento en peso (%)   | 38±5 <sup>a</sup>        | 37±4 <sup>a</sup> | 39±4 <sup>a</sup> | 36±2 <sup>a</sup> |

\* Los datos representan los valores promedio  $\pm$  la desviación estándar, (n=3). Letras diferentes como superíndice en la misma fila representan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

La correlación de los datos de cocción se muestra en la figura 1, en donde se puede observar el efecto de los diferentes porcentajes de humedad de la mezcla, con respecto a las pruebas de pérdidas por cocción e incremento en peso como se muestra a continuación:



**Figura 1.** Correlación de los datos de pérdidas por cocción (a) e incremento en peso (b) con respecto a los porcentajes de humedad relativa de la mezcla (45, 37, 35 y 30%).

Los resultados obtenidos en la tabla 4, muestran que, para las pérdidas por cocción, las mezclas con humedades relativas del 37, 35 y 30%, no mostraron diferencias

significativas entre ellas, pero sí de estas frente a la mezcla con humedad del 45%. Por otra parte, para la prueba de incremento en peso, se observa que no hubo diferencia significativa entre las mezclas con diferentes porcentajes de humedad. En la figura 1-a, se pudo observar que las pérdidas por cocción aumentan a medida que se aumenta la humedad de la mezcla. En cuanto a la figura 1-b, se observó que no hay una tendencia definida en la prueba de incremento en peso, para las mezclas con diferentes porcentajes de humedad, los cuales estuvieron en un intervalo de 36 a 39%. Un estudio obtuvo resultados similares, en donde realizaron una evaluación de las propiedades tecnológicas y texturales de la pasta de quinua, encontraron que, a una mayor humedad de la mezcla, las pérdidas por cocción aumentaban, esto posiblemente se deba a la débil interacción de las proteínas de la quinua (albúminas y globulinas). Por otra parte, durante la extrusión la quinua al tener un alto contenido de fibra puede llegar a afectar la estructura de las proteínas y almidones, provocando su debilitamiento y posterior liberación de sólidos durante la cocción. También, mencionan que tanto la pérdida o ganancia de peso de la pasta, se relaciona con la capacidad de retención de agua de la proteína de quinua, la cual se caracteriza por tener aminoácidos polares, que favorecen la absorción de agua y contribuyen a su vez, al aumento de peso después de la cocción [5].

En otro estudio, evaluaron el efecto de los parámetros de procesamiento en las características de calidad y optimización del proceso de extrusión-cocción, encontrando también, que las pérdidas de sólidos aumentan a medida que se aumenta el porcentaje de humedad en la mezcla. Estos resultados se deban posiblemente, a que un mayor porcentaje de humedad conduce a obtener pastas pegajosas y con baja resistencia mecánica, lo que provoca una mayor pérdida de sólidos durante la cocción. Observaron, que las pastas elaboradas a partir de harina de arroz y trigo sarraceno tuvieron porcentajes de pérdidas por cocción de 5.23 y 3.57% respectivamente. Mencionan, que estos valores deben ser inferiores al 10%, el cual es el límite de calidad para la pasta en cuanto a pérdidas por cocción. La calidad de cocción de los productos extruido depende también de la modificación del almidón por gelatinización, degradación o retrogradación y de la tasa de penetración de agua dentro del producto. En cuanto al incremento en peso encontraron, que este aumenta a medida que se aumenta la humedad de la mezcla, indicando que posiblemente un alto contenido de humedad conduce a productos extruidos con mayor absorción de agua, debido a su comportamiento hidrofílico [15].

Como se ha mencionado anteriormente, las características finales de la pasta no solo dependen del porcentaje de humedad de la mezcla, sino también de las materias primas que se utilicen y las variables en los procesos de extrusión y secado. En esta investigación, se observó que fue la mezcla con humedad del 30%, quien presentó las menores pérdidas durante la cocción, sin embargo, un valor de 22% está por encima de los límites establecidos para obtener una pasta con características finales de calidad [15]. Por lo que se recomienda a las futuras investigaciones, que se evalúen otros parámetros que puedan afectar estas características en la pasta de quinua hiperproteica, teniendo como referencia una humedad de la mezcla del 30% antes del proceso de extrusión.

### *3.3. Pruebas de color*

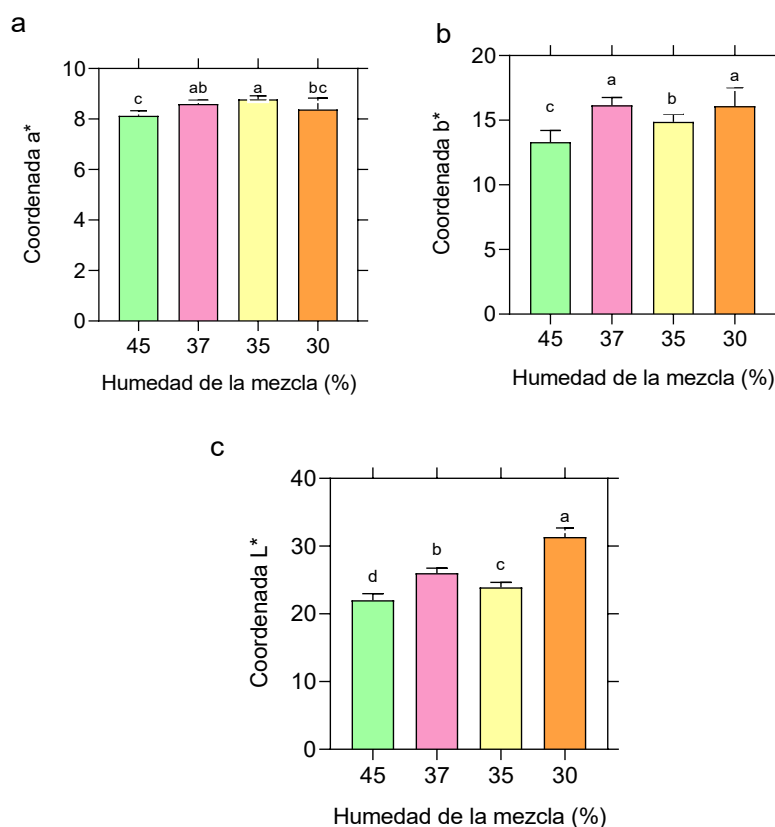
El color en las pastas es un factor de calidad importante que influye en la aceptación y preferencia del consumidor [16]. Para el análisis de color se determinaron los valores de las coordenadas  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  con sus respectivos análisis estadísticos y comparación por Tukey como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5.** Parámetros de color  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  en las muestras de pasta secadas en cámara climática con diferentes porcentajes de humedad relativa en la mezcla antes de extrusión\*.

| Coordenadas | Humedad de la mezcla (%) |                    |                  |                    |
|-------------|--------------------------|--------------------|------------------|--------------------|
|             | 45                       | 37                 | 35               | 30                 |
| $a^*$       | $8.1 \pm 0.2^c$          | $8.6 \pm 0.1^{ab}$ | $8.8 \pm 0.1^a$  | $8.4 \pm 0.4^{bc}$ |
| $b^*$       | $13.3 \pm 0.9^c$         | $16.1 \pm 0.5^a$   | $14.9 \pm 0.6^b$ | $16 \pm 1^a$       |
| $L^*$       | $22.0 \pm 0.9^d$         | $26.0 \pm 0.7^b$   | $23.9 \pm 0.7^c$ | $31 \pm 1^a$       |

\* Los datos representan los valores promedio  $\pm$  la desviación estándar, (n=15). Letras diferentes como superíndice en la misma fila representan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

La correlación de los datos de color se muestra en la figura 2, en donde se puede observar el efecto de los diferentes porcentajes de humedad de la mezcla, con respecto a las coordenadas de color  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  de la pasta después de extrusión y secada en cámara climática.



**Figura 2.** Correlación de los datos de color para las coordenadas  $a^*$  (a), coordenada  $b^*$  (b) y coordenada  $L^*$  (c), con respecto a los porcentajes de humedad relativa de la mezcla (45, 37, 35 y 30%).

En la tabla 5, se pudo observar que para la coordina  $a^*$ , la mezcla con una humedad del 45%, no mostro diferencia significativa frente a la de 30%, pero sí de esta, con las demás mezclas. Para la mezcla que contenía 37% de humedad, no se observa una diferencia significativa con respecto a la mezcla con 35%, pero sí de estas frente a las otras mezclas. En cuanto a la coordenada  $b^*$ , las mezclas de 37 y 30% de humedad, no presentaron diferencias significativas, pero sí de estas frente a las otras mezclas. Finalmente, para la



coordenada  $L^*$ , se observó que todas las mezclas fueron significativamente diferentes. En la figura 2-a, se pudo evidenciar que los valores estuvieron muy similares entre las diferentes mezclas, los cuales iban desde 8.1 a 8.8, sin embargo, fueron las mezclas de 45 y 30% quienes presentaron los valores más bajos ( $p < 0.05$ ). En la figura 2-b, se pudo observar que las mezclas de 37 y 30% de humedad, presentaron los valores más altos ( $p > 0.05$ ), al igual que en la coordenada  $L^*$  en donde el mayor resultado se obtuvo en la mezcla de 30% (figura 2-c). Resultados similares fueron obtenidos en otra investigación, en donde evaluaron las propiedades térmicas y pastosas de la quinua en la harina de trigo y su efecto en la producción de pasta extruida. Encontraron, que en una inclusión del 50% de harina de quinua, los valores de la coordenada  $a^*$  en las mezclas de 30 y 40% de humedad, fueron los más bajos, mientras que en la coordenada  $b^*$  y coordenada  $L^*$  los resultados más altos se obtuvieron en estas mismas condiciones [16]. Esto posiblemente se deba a que esta tendencia en el color es característico de la harina de quinua, en donde se obtienen unos colores de luminosidad altos, al igual que los valores de  $b$  y menores valores de  $a$ , debido a su color amarillo marrón, característico de la quinua [17]. Sin embargo, hay otros factores relacionados con el color final de la pasta, que son la extrusión y el secado, en donde ocurren diversas reacciones, las cuales están influenciadas por el aumento de la concentración de almidón, el tiempo de secado y la temperatura [5].

El color de las pastas es un factor importante en la aceptación o no entre los consumidores. Este atributo se puede ver afectado por diversos factores como son la composición de la matriz de alimentación y las condiciones del proceso. Durante la extrusión se producen reacciones de pardeamiento no enzimático como las de Maillard y caramelización, que pueden degradar los pigmentos presentes en el alimento. Por otra parte, un tratamiento térmico severo afecta también el color de la pasta, ya que la temperatura acelera la velocidad de la reacción de pardeamiento, ocasionando una disminución del valor de luminosidad ( $L^*$ ), enrojecimiento ( $a^*$ ) y amarillez ( $b^*$ ). La humedad es también un factor importante para determinar el color final del producto, se ha estudiado que, a bajos contenidos de humedad y altas temperaturas, provocan reacciones de Maillard más tempranas, mientras que mezclas con contenidos de humedad altos, el efecto es menos significativo [18]. Por lo que se debe tener en cuenta, realizar un balance entre los contenidos de humedad y temperaturas, con el objetivo de obtener los colores más aceptables, que se asemejen a la vez a un producto comercial.

Por último, se menciona que el color, el brillo y la transparencia son características importantes de las pastas, mientras que la sensación en la boca y la textura, son propias durante la cocción del producto [18]. Es por ello, por lo que tanto las pruebas de cocción, como las de color, son indispensables a la hora de determinar las características finales de la pasta. Obtener un producto con características de firmeza, con poca pérdida de sólidos y con un color llamativo, depende de muchos factores dentro del proceso de elaboración de pasta, entre ellos tenemos la humedad, quien tiene una influencia importante en la calidad de la pasta antes y después de la cocción.

#### 4. Conclusiones

En cuanto al modelamiento matemático en la etapa de secado, se concluye que fue el modelo de Page, el que se ajustó mejor a los datos experimentales con valores de regresión lineal por encima de 0.985. Encontrando, que la mezcla que contenía 30% de humedad, fue la que tuvo un valor más alto de  $R^2$  de 0.990. Se observó también, que las constantes de secado  $k$ , fueron mayores en las mezclas de 30 y 45 % de humedad, a diferencia de las otras mezclas. Se concluye que tanto la humedad de 30%, como el modelo de Page, fueron los que mejor se ajustaron a los datos experimentales en esta investigación.

Para las pruebas de cocción, se pudo observar que fue la mezcla con el 30% de humedad, la que obtuvo las menores pérdidas de sólidos al igual que de incremento en

peso. Este resultado se ve influenciado por la interacción de la proteína de la quinua, en donde a mayor porcentaje de humedad, las pérdidas por cocción aumentaron. Además, se observó que la fibra también puede provocar un debilitamiento y posterior liberación de sólidos durante la cocción. Por otro lado, los resultados de incremento en peso no fueron significativos entre las mezclas con valores que iban desde 36 a 39%.

Finalmente, la prueba de color arrojo que para la coordenada  $a^*$ , el resultado más bajo fue en la mezcla de 30 %, con un valor de 8.4, mientras que para la coordenada  $b^*$  y  $L^*$ , esta misma mezcla presentó los resultados más altos, con valores de 16 y 31 respectivamente. Dichos resultados se compararon con otras investigaciones, concluyendo que esta tendencia es propia para la harina de quinua y que además el color o las pruebas de cocción, no solo están influenciadas por la humedad de la mezcla, sino también, por las diferentes variables en los procesos de extrusión y secado, los cuales dependen a su vez de la materia prima que se va a utilizar en la elaboración de pasta, buscando siempre las condiciones más óptimas, en las que se logre obtener un producto final, con características similares a uno comercial.

## Referencias

- [1] A. Bresciani, M. A. Pagani, and A. Marti, "Proceso de fabricación de la pasta: Una revisión narrativa de la relación entre las variables del proceso y la calidad de la pasta," *Foods*, vol. 11, no. 3, p. 256, 2022, [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.7176>
- [2] X. Suo, M. Dall'Asta, G. Giuberti, M. Minucciani, Z. Wang, and E. Vittadini, "Effect of 'shape' on technological properties and nutritional quality of chickpea-corn-rice gluten free pasta," *LWT*, vol. 192, p. 115661, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.LWT.2023.115661.
- [3] A. M. M. Filho, M. R. Pirozi, J. T. D. S. Borges, H. M. Pinheiro Sant'Ana, J. B. P. Chaves, and J. S. D. R. Coimbra, "Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 57, no. 8, pp. 1618–1630, 2017, doi: 10.1080/10408398.2014.1001811.
- [4] N. J. da S. Ramos, E. B. M. Rocha, T. A. S. Gusmão, A. Nascimento, H. M. Lisboa, and R. P. de Gusmão, "Optimizing gluten-free pasta quality: The impacts of transglutaminase concentration and kneading time on cooking properties, nutritional value, and rheological characteristics," *LWT*, vol. 189, p. 115485, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.LWT.2023.115485.
- [5] Y. M. Itusaca-Maldonado, C. R. Apaza-Humerez, A. Pumacahua-Ramos, and E. Mayta Pinto, "Technological and textural properties of gluten-free quinoa-based pasta (*Chenopodium quinoa* Wild)," *Heliyon*, vol. 10, no. 7, p. e28363, Apr. 2024, doi: 10.1016/J.HELIYON.2024.E28363.
- [6] A. Bouasla and A. Wójtowicz, "Gluten-Free Rice Instant Pasta: Effect of Extrusion-Cooking Parameters on Selected Quality Attributes and Microstructure," *Process. 2021, Vol. 9, Page 693*, vol. 9, no. 4, p. 693, Apr. 2021, doi: 10.3390/PR9040693.
- [7] D. F. Roa-Acosta, J. E. Bravo-Gómez, M. A. García-Parra, R. Rodríguez-Herrera, and J. F. Solanilla-Duque, "Hyper-protein quinoa flour (*Chenopodium Quinoa* Wild): Monitoring and study of structural and rheological properties," *LWT*, vol. 121, p. 108952, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.LWT.2019.108952.
- [8] O. A. Aregbesola, B. . Ogunsina, A. E. Sofolahan, and N. N. Chime, "Mathematical modeling of thin layer drying characteristics of dika (*Irvingia gabonensis*) nuts and kernels," *Niger. Food J.*, vol. 33, no. 1, pp. 83–89, Jun. 2015, doi: 10.1016/J.NIFOJ.2015.04.012.
- [9] J. A. Curiel *et al.*, "Manufacture and characterization of pasta made with wheat flour rendered gluten-free using fungal proteases and selected sourdough lactic acid bacteria," *J. Cereal Sci.*, vol. 59, no. 1, pp. 79–87, Jan. 2014, doi: 10.1016/J.JCS.2013.09.011.
- [10] A. Lorusso, M. Verni, M. Montemurro, R. Coda, M. Gobetti, and C. G. Rizzello, "Use of fermented quinoa flour for pasta making and evaluation of the technological and nutritional features," *LWT*, vol. 78, pp. 215–221, May 2017, doi: 10.1016/J.LWT.2016.12.046.
- [11] O. Lucía *et al.*, "Optimization study of pasta extruded with quinoa flour (*Chenopodium quinoa* wild)," *CyTA - J. Food*, vol. 19, no. 1, pp. 220–227, 2021, doi: 10.1080/19476337.2021.1883116.
- [12] A. Bresciani, M. A. Pagani, and A. Marti, "Pasta-Making Process: A Narrative Review on the Relation between Process Variables and Pasta Quality," *Foods 2022, Vol. 11, Page 256*, vol. 11, no. 3, p. 256, Jan. 2022, doi: 10.3390/FOODS11030256.
- [13] W. C. Vimercati, C. da Silva Araújo, L. L. Macedo, A. M. Maradini Filho, S. H. Saraiva, and L. J. Q. Teixeira, "Influence of drying temperature on drying kinetics, energy consumption, bioactive compounds and cooking quality of pasta enriched

- with spinach," *J. Food Process Eng.*, vol. 43, no. 12, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1111/jfpe.13571.
- [14] C. G. Dalbhagat, D. K. Mahato, and H. N. Mishra, "Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 85, pp. 226–240, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.TIFS.2019.01.001.
- [15] A. Bouasla and A. Wójtowicz, "Rice-Buckwheat Gluten-Free Pasta: Effect of Processing Parameters on Quality Characteristics and Optimization of Extrusion-Cooking Process," *Foods 2019, Vol. 8, Page 496*, vol. 8, no. 10, p. 496, Oct. 2019, doi: 10.3390/FOODS8100496.
- [16] B. H. Tiga, S. Kumcuoglu, M. Vatansever, and S. Tavman, "Thermal and pasting properties of Quinoa – Wheat flour blends and their effects on production of extruded instant noodles," *J. Cereal Sci.*, vol. 97, p. 103120, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.JCS.2020.103120.
- [17] G. Lorenzo, M. Sosa, and A. Califano, *Alternative Proteins and Pseudocereals in the Development of Gluten-Free Pasta*, vol. 17. Elsevier Inc., 2018. doi: 10.1016/B978-0-12-811446-9.00015-0.
- [18] N. Wang, L. Maximiuk, and R. Toews, "Pea starch noodles: Effect of processing variables on characteristics and optimisation of twin-screw extrusion process," *Food Chem.*, vol. 133, no. 3, pp. 742–753, Aug. 2012, doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2012.01.087.