

# Snacks a base de maíz morado, quinua y kiwicha. Características físicas y sensoriales

## Snacks based on purple corn, quinoa and kiwicha. Physical and sensory characteristics

Fiorella Valderrama-Amasifuen, B.Sc.<sup>1</sup>, Hubert Arteaga, Ph.D.<sup>2</sup>, Alberto Flores, Ph.D.<sup>3</sup>, Jesús Obregón, M.Sc.<sup>4</sup>  
Gabriela Barraza-Jáuregui, M.Sc.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, gbarraza@unitru.edu.pe

<sup>2</sup> Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional Autónoma de Chota, Perú, hlarteagam@unach.edu.pe

<sup>3</sup> Carrera de Ingeniería Industrial, Universidad de Lima, Perú, alflores@ulima.edu.pe

<sup>4</sup> Data Engineering, [gerencia@dataengineeringperu.com](mailto:gerencia@dataengineeringperu.com)

**Resumen**— El objetivo de este estudio fue evaluar las características físicas, como índice de expansión, densidad aparente, porosidad, textura y crujido, así como aceptabilidad general de snacks extruidos a base de maíz morado (*Zea mays* L.), quinua (*Chenopodium quinoa* W.) y kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.). Se utilizó un diseño de mezclas simplex con centroide ampliado, con los componentes: maíz morado (M: 0.0 -100%), quinua (Q: 0.0 - 100%) y kiwicha (K: 0.0 - 100%), con lo cual se obtuvo diez formulaciones. Los resultados indican que la proporción de M:Q:K afectó significativamente los valores de índice de expansión, densidad aparente, porosidad, textura, crujido y aceptabilidad general. El tratamiento T9 (M: 17%, Q: 67%, K: 17%), presentó la mayor aceptabilidad general con media de 7.59 y moda de 9 (Me gusta muchísimo).

**Palabras clave**— extruidos, diseño de mezclas, pseudocereales, *Chenopodium quinoa* W, *Amaranthus caudatus* L.

**Abstract**— The aim of this study was to evaluate the physical characteristics, such as expansion index, apparent density, porosity, texture and crunch, as well as general acceptability of extruded snacks based on purple corn (*Zea mays* L.), quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) and kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.). A simplex mixture design with an extended centroid was used, with the components: purple corn (M: 0.0 -100%), quinoa (Q: 0.0 - 100%) and kiwicha (K: 0.0 - 100%), with which obtained ten formulations. The results indicate that the M:Q:K ratio significantly affected the expansion index, bulk density, porosity, texture, crunch and general acceptability values. Treatment T9 (M: 17%, Q: 67%, K: 17%), presented the highest general acceptability with a mean of 7.59 and a mode of 9 (I really like it).

**Keywords**— extrudates, design mixtures, pseudocereals, *Chenopodium quinoa* W, *Amaranthus caudatus* L.

### I. INTRODUCCIÓN

La extrusión ha sido ampliamente utilizada por la industria de alimentos para fabricar cereales listos para el consumo, productos expandidos y cereales para el desayuno [1].

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.569>  
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

Los snacks extruidos que normalmente existen en el mercado se basan principalmente en maíz o almidón de arroz con baja calidad nutricional debido a su alta densidad energética y pobreza en nutrientes. Por lo tanto, ingredientes como maíz morado, quinua y kiwicha parecen ser candidatos perfectos para producir snacks extruidos más saludables, ricos en fibra y con un interesante perfil de nutrientes [2] [3] [4].

El maíz morado es rico en antocianinas, pigmentos que pueden usarse potencialmente como una alternativa natural a los colorantes sintéticos usados en los alimentos, cosméticos y suplementos dietéticos. Estos pigmentos, en combinación con otros fitoquímicos son antioxidantes poderosos, ayudan a prevenir enfermedades cardiovasculares, demuestran actividades anticancerígenas/antiinflamatorias y ayudan a controlar la obesidad y diabetes [5].

Por otro lado, pseudocereales como la quinua y kiwicha, han sido cultivados en Sudamérica por más de 5000 años. Estos cultivos resistentes al clima fueron fuentes importantes de proteínas, fibra y lípidos durante los tiempos prehispánicos [2]. La quinua es uno de los granos más nutritivos debido a su alto contenido proteico y excelente composición de aminoácidos esenciales como lisina, metionina y cisteína. Como la quinua, la kiwicha también es una buena fuente de proteínas (14-16% bases secas) con alto contenido de lisina [4].

El primer paso hacia la industrialización de los pseudocereales ha pasado por la adopción de procesos tecnológicos de bajo costo tales como cocción por extrusión [2], que permite procesar extruidos fortificados con proteínas [6]. Después de fundirse, el material viscoso es forzado a través de una matriz donde el vapor se expande dando como resultado una estructura porosa y luego del enfriamiento, los extruidos se caracterizan por su propiedades físicas, apariencia y textura, aceptación del consumidor, valor nutricional y conveniencia [7].

El índice de expansión y la densidad se usan comúnmente para cuantificar las propiedades de expansión de los snacks extruidos. Comúnmente, se espera que los productos extruidos tengan una buena expansión y baja densidad [8]. Varios métodos para medir la textura y las propiedades sensoriales pueden proporcionar información sobre el comportamiento de alimentos cuando se deforman; el mejor método para usar depende de tipo de alimento y el propósito de la medición. Algunos autores encontraron relación entre la evaluación sensorial, comportamiento crujiente y textura instrumental [1].

Por otro lado, una técnica creciente en el análisis de materiales es el uso del análisis acústico para detectar cambios microestructurales permanentes en el material. La estructura tiene un gran efecto en el sonido producido y la percepción auditiva al morder el alimento. Muchos investigadores coinciden en que la textura y el crujido se ven afectados por el tamaño de las celdas de aire y el grosor de las paredes de las celdas [1].

El presente estudio, desarrollado en el año 2018, describe el efecto de la proporción de maíz morado, quinua y kiwicha sobre las características físicas (índice de expansión, densidad aparente y porosidad, textura y crujido) y aceptabilidad general de snacks extruidos, presentándose como propuesta de desarrollo de snacks nutricionalmente equilibrados y sensorialmente aceptables.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. *Materia prima*

Maíz morado (*Zea mays* L.), quinua (*Chenopodium quinoa* W.) variedad blanca comercial y kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) adquiridos del Consorcio de Asociación de Productores (APROSAC), ciudad de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, región La Libertad.

### B. *Acondicionamiento del maíz morado*

Se seleccionaron mazorcas de maíz morado exentas de picaduras, manchas, y sin señal de descomposición. Posteriormente fueron lavadas, con la finalidad de eliminar suciedad y/o resto de tierra adherida a los granos, desinfectadas por inmersión en solución de hipoclorito de sodio (50 ppm) y enjuagadas con agua destilada. Luego fueron desgranadas y los granos de maíz obtenidos fueron secados en estufa de aire forzado (UF 260 Plus, Memmert, Alemania) hasta una humedad de 11% [9], luego fueron molidos en molino de martillos (F 180, China). El producto obtenido fue tamizado con malla N°16 de la U.S. Standar ASTM [10].

### C. *Proceso de extrusión*

Los granos molidos de maíz morado, quinua y kiwicha fueron pesados de acuerdo a las proporciones indicadas en el diseño experimental (Tabla 1) y colocados en bolsas de polietileno de 100 µm de espesor, haciendo un total de 2.00 kg por tratamiento.

Las muestras correspondientes a cada tratamiento fueron alimentadas al extrusor de tornillo simple (Modelo SX-GP 55, China), con un alimentador volumétrico de doble tornillo a razón de 80 kg/h. La temperatura de proceso fue de 150 °C y velocidad de rotación del tornillo de 550 rpm. A la salida del troquel las muestras extruidas fueron cortadas por la acción de unas cuchillas rotatorias. El producto final fue enfriado a temperatura ambiente 25 °C, envasado en bolsas de polietileno de 100 µm de espesor para evitar la ganancia de humedad y almacenado a 25 °C para su posterior evaluación [1] [8].

### D. *Color*

La determinación de color se realizó mediante un espectrofotómetro-colorímetro (CM-5, Konica Minolta, USA), Se usó el sistema CIELAB para la determinación de los parámetros de color como L\*(Luminosidad, que van desde 0, negro a 100, blanco), cromaticidad (0-100%) y ángulo de tono (0°-360°). El ángulo de tono (°H) es la representación angular del color, a menudo es descrito como "rojo", "azul", etc., mientras que la cromaticidad (C) describe la pureza (saturación) del color. Los valores de referencia para °H son 0/360 °, 90 °, 180 °, 270 ° para colores rojo magenta, amarillo, verde azulado, y azul, respectivamente [11].

### E. *Índice de expansión y porosidad*

El índice de expansión se expresó como la relación del diámetro del extruido al diámetro del troquel. Diez muestras extruidas fueron seleccionadas al azar y se tomó una lectura por pieza [1].

La porosidad fue determinada por análisis de las imágenes de la estructura celular de los snacks extruidos. Para ello, se colocaron las muestras cortadas en forma transversal, dentro de un sistema de visión computacional, conformado por una cámara con paredes y base de color negro mate y 4 fluorescentes de 6500 k de color (luz blanca fría) ubicados a 45 cm de la base en un ángulo de 45° con referencia de la muestra [12]. Para la toma de imágenes se utilizó una cámara marca Nikon D5600, sin zoom, flash ni filtros, ubicada a 55 cm de la muestra, por operación remota desde la computadora y se almacenaron como archivos JPEG sin comprimir. Las imágenes fueron procesadas usando el programa ImageJ, fueron binarizadas (escala de grises), se determinó el área de los poros en px<sup>2</sup>, posteriormente se estableció el porcentaje de éstos en referencia al área del corte transversal de la muestra evaluada [13].

### F. *Densidad aparente*

La densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) se determinó a partir de 10 mediciones para cada tratamiento empleando la ecuación 1 [14] [15].

$$\rho = 4 * W / \pi * D^2 * L \quad (1)$$

Donde ρ, D (cm), L (cm) y W (g) son la densidad aparente, diámetro, longitud y masa de cada muestra extruida,

respectivamente. Se seleccionaron al azar diez réplicas de extruidos y se calculó la media aritmética [1].

### G. Textura y análisis acústico

Para el análisis de textura (crujido) se utilizó un analizador de textura (TA HD plus Stable Micro Systems, Surrey, UK) y el software Exponent (Stable Micro Systems, Surrey, UK) en combinación con un micrófono digital (sensor de sonido) (SLM-BTA, Vernier, USA) con un rango de medida de 35-130 dB ( $\pm 0.1$  dB) y 31.5-8000 Hz, que midió la señal acústica al momento de la prueba de corte.

La captación de la señal acústica se realizó posicionando el micrófono a 3 cm de distancia a la muestra; acoplado a una interface Labpro® y para la adquisición de datos, se empleó el software Logger Pro® para PC. El ángulo entre la sonda del analizador de textura y el micrófono se ajustó a 45° [16] [17].

Las muestras de 5 cm de longitud, se colocaron sobre una placa de metal de metal y se empleó una sonda tipo guillotina (0.9 mm de espesor) para cortar la muestra. Se realizaron 10 mediciones para cada tratamiento empleando una celda máxima de 50 kg, con las siguientes condiciones: velocidad antes de la prueba, 1 mm/s; velocidad de ensayo, 2.0 mm/s; velocidad posterior a la prueba 10 mm/s; y fuerza de disparo 0.1 N. La dureza de los extruidos se midió como la fuerza máxima requerida para el corte de los extruidos. La señal acústica se expresó en decibeles (dB) y se registró el pico sonoro máximo [1] [9].

### H. Análisis sensorial

La prueba sensorial de aceptabilidad general se realizó con 126 panelistas no entrenados voluntarios y habituales consumidores de extruidos y cereales, empleando una escala hedónica de 9 puntos (1= “Me disgusta muchísimo”; 9= “Me gusta muchísimo”). Cada tratamiento codificado con tres dígitos de forma aleatoria, fue presentado a los panelistas en un pequeño vaso de plástico con tapa para que evitar que la muestra gane humedad [15]. Se empleó un diseño de bloques incompletos balanceados para la presentación de las muestras a los panelistas, con el fin de evitar la fatiga sensorial [18] [19].

### I. Análisis Estadístico

Para obtener las combinaciones de los tratamientos se utilizó un diseño de mezclas, simplex con centroide ampliado, con los componentes: maíz morado (M: 0-100%), quinua (Q: 0-100%) y kiwicha (K: 0-100%) (Tabla 1) [20]. Para el procesamiento estadístico de los tratamientos se utilizó un análisis de varianza (ANVA), y a continuación, la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, para comparar los resultados mediante la formación de subgrupos [21]. Todos los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confianza del 95%. Para procesar los datos se utilizó el software R 3.6.1. con el package "agricolae".

Los datos de aceptabilidad general de los extruidos, se evaluaron por la prueba de Durbin y la prueba de Comparaciones Múltiples de Conover, con un nivel de confianza de 95%, prueba que da a conocer el tratamiento con mayor aceptabilidad general [22].

TABLA 1  
PROPORCIÓN DE INGREDIENTES EN MUESTRAS DE EXTRUIDOS

Tratamientos	Valores codificados			Valores No codificados (Proporción de ingredientes)		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Maíz morado (%)	Quinua (%)	Kiwicha (%)
1	1.000	0.000	0.000	100	0	0
2	0.000	1.000	0.000	0	100	0
3	0.000	0.000	1.000	0	0	100
4	0.500	0.500	0.000	50	50	0
5	0.500	0.000	0.500	50	0	50
6	0.000	0.500	0.500	0	50	50
7	0.333	0.333	0.333	33	33	33
8	0.667	0.167	0.167	67	17	17
9	0.167	0.667	0.167	17	67	17
10	0.167	0.167	0.667	17	17	67

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. Color

En la Tabla 2 muestra los resultados de la evaluación de los parámetros de color, L\*, Croma (C) y °Hue (°H), observándose diferencia significativa entre los tratamientos. El brillo (L\*) o luminosidad del color entre las diferentes formulaciones varió significativamente entre 51.57±0.53<sup>s</sup> (T8) (M: 67%; Q: 17%; K: 17%) a 76.94±0.22<sup>a</sup> (T6) (M: 0%; Q: 50%; K: 50%). Formulaciones con mayor contenido de maíz morado, presentaron menores valores de L\* (más oscuras), posiblemente debido a la presencia de antocianinas, pigmentos que imparten colores azul, púrpura y rojo al grano [3], mientras que las formulaciones con menor contenido o ausencia de maíz morado presentaron valores más elevados (más claras). El tono varió significativamente entre rojo y amarillo (Figura 1) con valores de °H de 19.97±0.55 (T5) (M: 50%; Q: 0%; K: 50%) a 80.76±0.27 (T6) (M: 0%; Q: 50%; K: 50%). Tendencia similar presentaron los valores de Croma. Otro ingrediente que pudo influir en el color de los extruidos es la kiwicha, en la cual se han identificado fitoquímicos importantes, como las betalainas (betacianinas y betaxantinas), que son una clase de pigmentos rojos y amarillos derivados de indol [23].

Valores similares para L\* fueron reportados en productos expandidos a partir de diferentes formulaciones de papa púrpura y harina de arveja amarilla (69.46 a 88.10) [11]. Además, menores valores de luminosidad podrían atribuirse a la reacción de Maillard y degradación de antocianinas y betalainas presentes en el maíz morado y kiwicha, respectivamente, como consecuencia del proceso de extrusión [11].

TABLA 2  
VALORES DE L\*, C\* Y H\* EN MUESTRAS DE EXTRUIDOS

Tratamientos	L*	C*	H*
T1	58.41±0.11 <sup>c</sup>	8.52±0.04 <sup>f</sup>	41.93±0.49 <sup>g</sup>
T2	72.12±0.45 <sup>b</sup>	23.07±0.12 <sup>a</sup>	73.41±0.29 <sup>c</sup>
T3	71.27±0.86 <sup>b</sup>	20.25±0.08 <sup>b</sup>	77.90±0.47 <sup>b</sup>
T4	57.49±0.74 <sup>c</sup>	9.98±0.63 <sup>e</sup>	45.81±1.25 <sup>f</sup>
T5	55.08±0.57 <sup>f</sup>	5.39±0.07 <sup>i</sup>	19.97±0.55 <sup>i</sup>
T6	76.94±0.22 <sup>a</sup>	19.51±0.16 <sup>c</sup>	80.76±0.27 <sup>a</sup>
T7	58.34±0.98 <sup>c</sup>	7.29±0.04 <sup>g</sup>	45.03±0.43 <sup>f</sup>
T8	51.57±0.53 <sup>g</sup>	6.22±0.15 <sup>h</sup>	23.19±0.62 <sup>h</sup>
T9	62.89±0.62 <sup>c</sup>	12.07±0.15 <sup>d</sup>	59.11±0.18 <sup>e</sup>
T10	60.45±0.27 <sup>d</sup>	8.94±0.12 <sup>f</sup>	63.64±0.14 <sup>d</sup>



Fig 1. Muestras de snacks extruidos a base de maíz morado, quinua y kiwicha.

### B. Índice de Expansión y Porosidad

En la Figura 2 se observa diferencia significativa entre los valores del índice de expansión en muestras de snack extruido, donde el tratamiento T2 (Q: 100%) presentó el mayor valor (1.55 ± 0.04) entre las muestras puras. Con respecto a las mezclas binarias T4 (M: 50%, Q: 50%), T5 (M: 50%, K: 50%) y T6 (Q: 50%, K: 50%) y ternarias T7 (M: 33%, Q: 33%, K: 33%), T8 (M: 67%, Q: 17%, K: 17%), T9 (M: 17%, Q: 67%, K: 17%), T10 (M: 17%, Q: 17%, K: 67%), el índice de expansión aumentó con la presencia de quinua en la mezcla; con mayores

valores para el T4 (M: 50%, Q: 50%) y T9 (M: 17%, Q: 67%, K: 17%) de 1.99±0.15 y 2.23±0.01, respectivamente. Efecto contrario ocurrió con la adición de kiwicha en la mezcla.

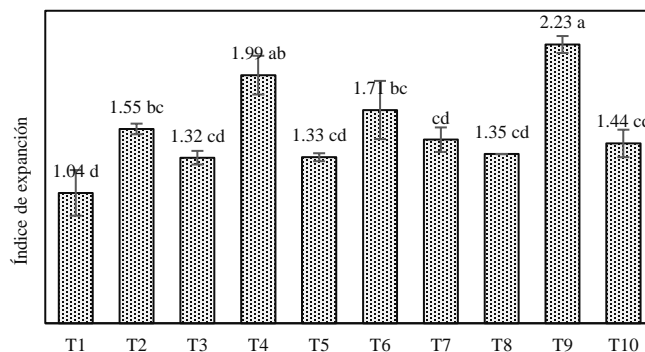


Fig 2. Valores de índice de expansión para muestras de snack extruido.

Los valores de índice de expansión de los snacks extruidos variaron de 1.04 a 2.23, siendo similares a los reportados para extruido a base de mezcla de almidón de maíz y d-limoneno (1.7- 2.2) [24], para extruidos elaborados a base de aislado de proteína de soya y harina de maíz (1.25 a 1.77) [25], para granos de maíz extruidos (1.4 a 4.0) [26], para extruidos a base de maíz saborizado (1.61 a 3.08) [15] y para quinua extruida (var. Cherry Vanilla) (1.19 a 1.67) [8].

Sin embargo, los valores reportados fueron bajos comparados con los obtenidos en snacks extruidos a base de almidón de maíz comercial (1.0 a 4.0) [26]. Los valores más bajos de índice de expansión observados pueden atribuirse al hecho de que, la quinua y kiwicha contienen mayor cantidad de proteína (11.3%, 13.2%), fibra (5.1%, 5.15%) y grasa (6.88%, 6.66%) respectivamente, en comparación con los granos de cereales [2], como el maíz morado, proteína (7.1%), fibra (1.72 %) y grasa (1.76%). Se sabe que el alto contenido de fibra conduce a una disminución de la expansión, así como el alto contenido de proteínas. La reducción de la expansión por fibra puede deberse a que, la fibra insoluble tiende a retener agua en la matriz durante la cocción por extrusión, reduciendo así la generación de vapor. Además, las fibras inertes tienden a ser rígidas en comparación con polímeros a base de almidón y esto puede inhibir la expansión [8].

La expansión es descrita en cinco pasos principales que incluyen: transformación del almidón, nucleación de burbujas, hinchamiento de extruidos, crecimiento de burbujas y colapso de las burbujas. Durante este proceso, las propiedades reológicas de la masa fundida a la salida del dado y durante la expansión dependen de la composición del producto y transformaciones de los ingredientes durante la extrusión, determinando su textura final [27].

En la Figura 3 se muestra la estructura celular de los snacks extruidos (porosidad), captados con el sistema de visión

computacional. Estas imágenes refuerzan los datos presentados en las Figuras 1 y 2, observándose que, los snacks con mayor índice de expansión, presentaron mayor porosidad, con pequeñas burbujas de aire bien repartidas, en comparación con las muestras menos expandidas, las cuales presentaron menos burbujas y más grandes. Resultados similares fueron reportados para snacks extruidos a base de maíz y lenteja [28] y de harina de arveja, fibra de avena y proteína de arveja [7].

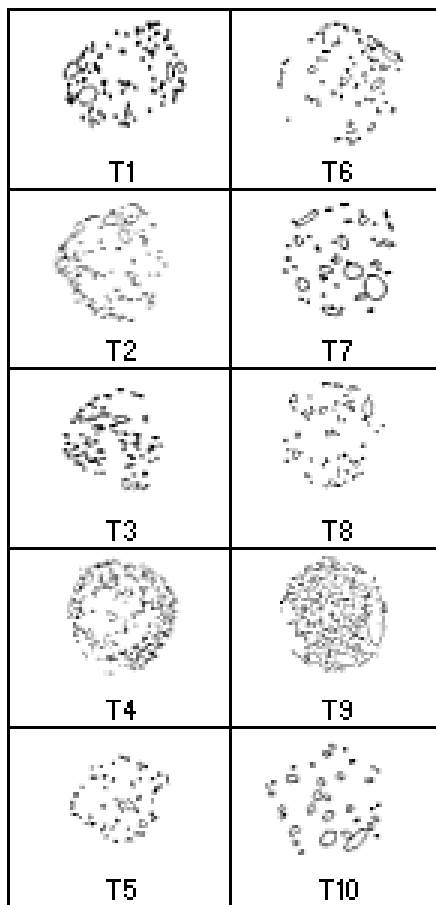


Fig 3. Imágenes de la porosidad en muestras de snack extruido.

La cocción por extrusión no solo provoca la expansión del producto, sino también una modificación microestructural [1]. En este estudio, las imágenes (Figura 4) muestran diferencias considerables en la estructura celular dependiendo de la composición de la mezcla. Se encontró que la microestructura dependía del tamaño de la celda y su organización. Tratamientos con mayor proporción de quinua en la mezcla, muestran una estructura porosa con numerosas celdas pequeñas de aire, mientras que resultado contrario se observa con el incremento de kiwicha en la mezcla.

### C. Densidad

La densidad de los extruidos es otro parámetro importante de snacks extruidos y a menudo, se encuentra inversamente relacionada con el grado de expansión en extruidos. Comúnmente, se espera que estos productos presentes alto grado de expansión y baja densidad para ser deseables para los consumidores [8].

En la Figura 4 se presentan los valores de la densidad aparente en muestras de snack extruido, donde el tratamiento T1 (M: 100%) presentó el menor valor ( $0.20 \pm 0.04$ ) entre las muestras puras; con respecto a las mezclas binarias T4 (M: 50%, Q: 50%), T5 (M: 50%, K: 50%) y T6 (Q: 50%, K: 50%) y ternarias T7 (M: 33%, Q: 33%, K: 33%), T8 (M: 67%, Q: 17%, K: 17%), T9 (M: 17%, Q: 67%, K: 17%), T10 (M: 17%, Q: 17%, K: 67%), la densidad fue menor con la presencia e incremento de quinua en la mezcla, con menores valores para los tratamientos T4 (M: 50%, Q: 50%) y T9 (M: 17%, Q: 67%, K: 17%) de  $0.17 \pm 0.01$  y  $0.15 \pm 0.01$ , respectivamente. Efecto contrario ocurrió con el incremento de kiwicha en la mezcla.

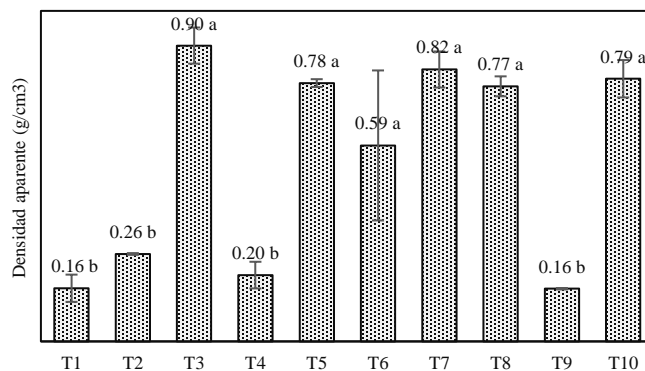


Fig 4. Valores de densidad aparente para muestras de snack extruido.

Los valores de densidad de los snacks extruidos variaron de 0.16 a 0.90 g/cm<sup>3</sup>, siendo similares a los reportados para extruidos elaborados a base de aislado de proteína de soya y harina de maíz (0.423 a 0.864 g/cm<sup>3</sup>) [25], para extruidos a base de maíz saborizado (0.13 a 0.85 g/cm<sup>3</sup>) [15] y para harina de quinua (var. Cherry Vanilla) (0.45 to 1.02 g/cm<sup>3</sup>) [8], pero menores a los encontrados para extruidos a base de mezcla de almidón de maíz y d-limoneno (0.81 to 1.20 g/cm<sup>3</sup>) [24].

### D. Textura y análisis acústico

Los resultados de la evaluación de la textura (dureza) y crujido (pico de señal acústica), definido como el sonido característico que emite un alimento al romperse o cortarse al colocarse entre los dientes frontales y morderlo [2], de cada una de las formulaciones, se muestra en la Figura 5, observándose diferencia significativa entre los tratamientos.

Cuando se aplica una fuerza a un elemento crujiente, su estructura es estresada hasta llegar a un punto crítico y la acción

de la fuerza externa provoca la ruptura de las frágiles paredes de la estructura celular que comienzan a vibrar. La vibración se transmite a través del aire como ondas acústicas (picos sonoros) que genera el sonido, siendo detectadas y registradas en paralelo a la prueba de corte de los extruidos [9].

Los valores de dureza y crujido (pico sonoro) de los snacks extruidos variaron de 1.45 a 17.16 N y 67.18 a 62.40 dB, respectivamente. Siendo similares a los reportados para extruido a base de mezcla de harina de maíz morado, quinua y chia (7 a 11 N) [9], y difieren con los valores indicados para extruidos elaborados a base de harina de centeno (15.7887 a 35.450 N y 49.22 a 53.23 dB) [1].

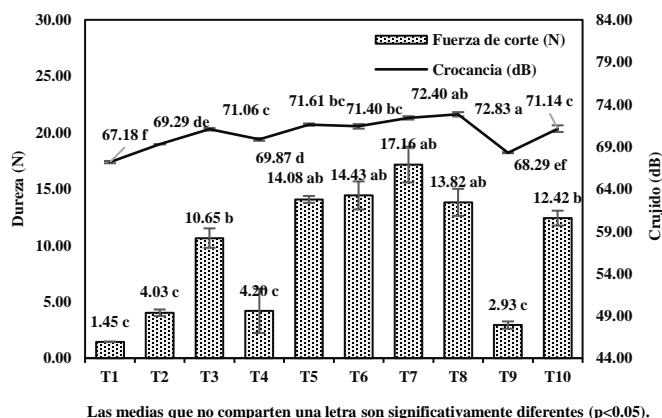


Fig 5. Dureza (N) y crujido (dB) de snack extruido.

Los resultados de las pruebas de textura y crujido indicarían que, mientras menor dureza presentaron las muestras de snack extruido, menor fue la señal acústica emitida al momento del corte, siendo los tratamientos con menor señal acústica y menor dureza T1 (M: 100%) y T9 (M: 17%, Q: 67%, K: 17%), con valores de 67.18±0.14, 68.29±0.06 dB y 1.45±0.2, 2.93±0.33 N, respectivamente, posiblemente debido a que, el tamaño de los poros y la ruptura de las bolsas de aire desempeñan un papel fundamental en la percepción del sonido [2]. Así, los snacks extruidos se percibieron menos crujientes cuando presentaron menor tamaño de los poros.

La microestructura expandida de los productos finales se ve influenciado por el proceso, con cambios en la expansión relativa del producto y la estructura celular. Una mayor expansión reduce el grosor de la capa de moléculas de almidón que rodean las celdas de aire, por lo que se necesita menor fuerza para romper la muestra [29].

### E. Análisis sensorial

Las pruebas de aceptación, son pruebas de tipo afectivas y miden lo mucho que una población disfrutó de un producto. Para estas pruebas, la escala hedónica de nueve puntos es la más ampliamente utilizada con adultos [30].

En la Figura 6 se muestra los datos de aceptabilidad general. Con la prueba de Durbin se determinó diferencia significativa (p<0.05) entre los tratamientos evaluados, y la prueba de comparaciones múltiples de Conover indicó la existencia de 2 tratamientos con mayor aceptación, T4 y T9, con media de 7.22 y 7.59, y moda de 8 (Me gusta mucho) y 9 (Me gusta muchísimo) respectivamente. Resultados similares fueron reportados para snacks extruidos a base de harina de trigo Durum, harina de avellana parcialmente desgrasada, grano de arroz, cáscara de tomate, cáscara de naranja y semilla de uva [30].

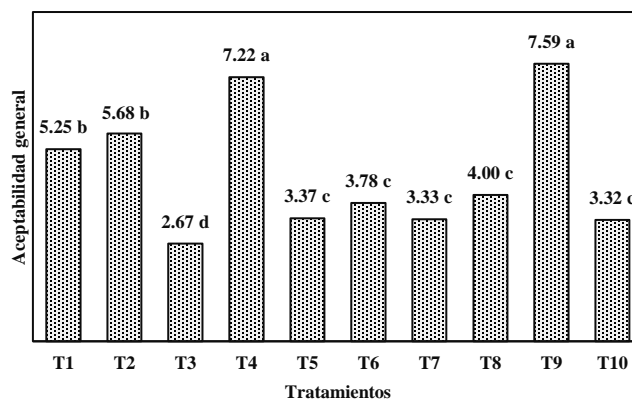


Fig. 6. Valores de medios de aceptabilidad general para muestras de snack extruido.

## IV. CONCLUSIÓN

Es posible preparar snacks extruidos a base de maíz morado, quinua y kiwicha con características físicas y aceptabilidad diferenciadas de acuerdo a la proporción de los ingredientes. Incremento de la proporción de quinua en la mezcla, permitió obtener muestras con mayor índice de expansión, menor densidad, mayor cantidad de poros de menor tamaño, lo que en buena parte explicó la menor textura y crujido de los snacks. Sin embargo, comportamiento contrario se obtuvo con el incremento de kiwicha en la mezcla. De todos los tratamientos, T9 (M: 17%, Q: 67%, K: 17%), presentó la mayor aceptabilidad general con contenido de proteínas, grasa y fibra de 10.85, 9.2 y 4.22%, pudiendo considerarse como alimento con mayor valor nutricional, en comparación con snacks comerciales. Por ello se recomienda realizar estudios del perfil nutricional y estabilidad de compuestos bioactivos presentes en el snack, así como estudios para mejorar de la presentación de los snacks.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Trujillo (Perú) por el financiamiento recibido de parte del "Canon Minero" (PIC02-2013-II y PIC05-2014-III) y al Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la carrera de Industrias Alimentarias, Universidad Privada Antenor Orrego, por el uso del extrusor.

## REFERENCES

- [1] M. Saeleaw, K. Dürrschmid, and G. Schleinig, "The effect of extrusion conditions on mechanical-sound and sensory evaluation of rye expanded snack," *Journal of Food Engineering*, vol. 110, no. 4, pp. 532-540, 2012.
- [2] J. M. Ramos Diaz et al., "Use of amaranth, quinoa and kañiwa in extruded corn-based snacks," *Journal of Cereal Science*, vol. 58, no. 1, pp. 59-67, 2013.
- [3] P. Somavat, Q. Li, E. G. de Mejia, W. Liu, and V. Singh, "Coprodukt yield comparisons of purple, blue and yellow dent corn for various milling processes," *Industrial Crops and Products*, vol. 87, pp. 266-272, 2016.
- [4] F. Robin, C. Théoduloz, and S. Srichuwong, "Properties of extruded whole grain cereals and pseudocereals flours," *International journal of food science & technology*, vol. 50, no. 10, pp. 2152-2159, 2015.
- [5] J. He and M. M. Giusti, "Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties," *Annual review of food science and technology*, vol. 1, pp. 163-187, 2010.
- [6] M. Kristiawan et al., "Multi-scale structural changes of starch and proteins during pea flour extrusion," *Food research international*, vol. 108, pp. 203-215, 2018.
- [7] C. S. do Carmo et al., "The impact of extrusion parameters on physicochemical, nutritional and sensorial properties of expanded snacks from pea and oat fractions," *LWT*, vol. 112, p. 108252, 2019.
- [8] R. J. Kowalski, I. G. Medina-Meza, B. B. Thapa, K. M. Murphy, and G. M. Ganjyal, "Extrusion processing characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Cherry Vanilla," *Journal of Cereal Science*, vol. 70, pp. 91-98, 2016.
- [9] M. Cueto et al., "Physical and mechanical properties of maize extrudates as affected by the addition of chia and quinoa seeds and antioxidants," *Journal of food engineering*, vol. 167, pp. 139-146, 2015.
- [10] R. Repo-Carrasco, J. J. Pilco, and C. R. Encina-Zelada, "Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y maíz (*Zea mays* L.)," *Ingeniería Industrial*, no. 029, pp. 207-222, 2011.
- [11] B. Nayak, J. D. J. Berrios, J. R. Powers, and J. Tang, "Effect of extrusion on the antioxidant capacity and color attributes of expanded extrudates prepared from purple potato and yellow pea flour mixes," *Journal of food science*, vol. 76, no. 6, pp. C874-C883, 2011.
- [12] K. Leon, D. Mery, F. Pedreschi, and J. Leon, "Color measurement in L\* a\* b\* units from RGB digital images," *Food research international*, vol. 39, no. 10, pp. 1084-1091, 2006.
- [13] C. Herrero-Latorre, J. Barciela-García, S. García-Martín, and R. M. Peña-Creciente, "Detection and quantification of adulterations in aged wine using RGB digital images combined with multivariate chemometric techniques," *Food chemistry: X*, vol. 3, p. 100046, 2019.
- [14] R. Chávez - Jáuregui, M. Silva, and J. Arêas, "Extrusion cooking process for amaranth (*Amaranthus caudatus* L.)," *Journal of Food Science*, vol. 65, no. 6, pp. 1009-1015, 2000.
- [15] M. E. Cortazzo Menis, T. M. Goss Milani, A. Jordano, M. Boscolo, and A. C. Conti-Silva, "Extrusion of flavored corn grits: Structural characteristics, volatile compounds retention and sensory acceptability," *LWT-FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY*, vol. 54, no. 2, p. 434, 2013.
- [16] L. Piazza, J. Gigli, and D. Ballabio, "On the application of chemometrics for the study of acoustic-mechanical properties of crispy bakery products," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 86, no. 1, pp. 52-59, 2007.
- [17] E. Jakubczyk, E. Gondek, and E. Tryzno, "Application of novel acoustic measurement techniques for texture analysis of co-extruded snacks," *LWT*, vol. 75, pp. 582-589, 2017.
- [18] D. M. dos Santos, D. P. R. Ascheri, A. de Lacerda Bukzem, C. C. Morais, C. W. P. Carvalho, and J. L. R. Ascheri, "Physicochemical properties of starch from avocado seed (*Persea Americana* Mill)," *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, vol. 34, no. 2, 2017.
- [19] B. C. Franczak, R. P. Browne, P. D. McNicholas, and C. J. Findlay, "Product selection for liking studies: The sensory informed design," *Food Quality and Preference*, vol. 44, pp. 36-43, 2015.
- [20] W. Ouedrhiri et al., "Mixture design of *Origanum compactum*, *Origanum majorana* and *Thymus serpyllum* essential oils: optimization of their antibacterial effect," *Industrial Crops and Products*, vol. 89, pp. 1-9, 2016.
- [21] D. C. Montgomery, *Design and analysis of experiments*. John Wiley & sons, 2017.
- [22] J. Bi, "Computer-intensive methods for sensory data analysis, exemplified by Durbin's rank test," *Food Quality and Preference*, vol. 20, no. 3, pp. 195-202, 2009.
- [23] A. Martinez-Lopez, M. C. Millan-Linares, N. M. Rodriguez-Martin, F. Millan, and S. Montserrat-de la Paz, "Nutraceutical value of kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.)," *Journal of Functional Foods*, p. 103735, 2019.
- [24] S. Yuliani, P. Torley, and B. Bhandari, "Physical and processing characteristics of extrudates made from starch and d-limonene mixtures," *International Journal of Food Properties*, vol. 12, no. 3, pp. 482-495, 2009.
- [25] L. Yu, H. S. Ramaswamy, and J. Boye, "Protein rich extruded products prepared from soy protein isolate-corn flour blends," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 50, no. 1, pp. 279-289, 2013.
- [26] S. Thymi, M. Krokida, A. Pappa, and Z. Maroulis, "Structural properties of extruded corn starch," *Journal of food engineering*, vol. 68, no. 4, pp. 519-526, 2005.
- [27] F. Robin, C. Dubois, N. Pineau, E. Labat, C. Théoduloz, and D. Curti, "Process, structure and texture of extruded whole wheat," *Journal of Cereal Science*, vol. 56, no. 2, pp. 358-366, 2012.
- [28] A. Lazou and M. Krokida, "Structural and textural characterization of corn-lentil extruded snacks," *Journal of Food Engineering*, vol. 100, no. 3, pp. 392-408, 2010.
- [29] P. Varela, J. Chen, S. Fiszman, and M. Povey, "Crispness assessment of roasted almonds by an integrated approach to texture description: texture, acoustics, sensory and structure," *Journal of Chemometrics: A Journal of the Chemometrics Society*, vol. 20, no. 6 - 7, pp. 311-320, 2006.
- [30] S. Yağcı and F. Göğüş, "Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products," *Journal of Food Engineering*, vol. 86, no. 1, pp. 122-132, 2008.