

# DESARROLLO DE UNA HAMBURGUESA PLANT-BASED CON HARINA DE TARWI (*Lupinus mutabilis*), FREJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris*) Y HARINA DE CUSHURO (*Nostoc sphaericum* s.p.)

Jose Carlos Palacios Carrasco<sup>a</sup>, Diego Carlos Valderrama Pumallihua<sup>a\*</sup>, Nancy Ascencion Chasquibol Silva<sup>b</sup>

## RESUMEN

La tendencia en el consumo de productos basados en fuentes vegetales va en aumento debido a la creciente preocupación por la sostenibilidad y los efectos ambientales de la producción de productos cárnicos. En este contexto, se elaboró una hamburguesa plant-based con alto contenido de proteína y un perfil balanceado de aminoácidos esenciales, combinando harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*), frejol negro (*Phaseolus vulgaris*) y cushuro (*Nostoc sphaericum*). El tarwi es una leguminosa andina rica en proteínas (40-50%) y grasas saludables (20%), mientras que el frejol negro es una fuente importante de fibra y minerales. El cushuro, una cianobacteria altoandina, tiene un alto contenido proteico y minerales como hierro y calcio. Para la formulación de la hamburguesa plant-based, se mezclaron harina de tarwi (45%), harina de cushuro (2,33%), frejol negro (8,77%), zanahoria (3%), huevo (36%), sal de mara (0,85%), orégano en polvo (0,75%), páprika en polvo (1,4%), ajo molido (0,9%) y cebolla en polvo (1%). Los resultados mostraron que la muestra óptima (MO) presentó 30,48% de proteínas, 36,19% de humedad, 22,06% de grasa y 8,91% de carbohidratos, con un perfil equilibrado de aminoácidos, destacando el ácido glutámico ( $196,16 \pm 4,77$  mg/g proteína), arginina ( $145,91 \pm 4,75$  mg/g proteína), ácido aspártico ( $83,00 \pm 4,52$  mg/g proteína). Además, se obtuvo una actividad antioxidante de 1502,19  $\mu$ g trolox/g, y en la evaluación sensorial la MO alcanzó una aceptabilidad del 86,67%, resaltando en sabor, textura y apariencia frente a la muestra de control, lo que demuestra su potencial como alternativa proteica sostenible y nutritiva.

**Palabra clave:** Tarwi, cushuro, hamburguesa plant-based, proteína

---

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Lima, v. Javier Prado Este 4600, Urb. Fundo Monterrico Chico, Lima 15023, Perú, \*20192043@aloe.ulima.edu.pe

<sup>b</sup> Laboratorio de Alimentos Funcionales, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Lima, v. Javier Prado Este 4600, Urb. Fundo Monterrico Chico, Lima 15023, Perú

## DEVELOPMENT OF A PLANT-BASED BURGER WITH TARWI FLOUR (*Lupinus mutabilis*), BLACK BEANS (*Phaseolus vulgaris*), AND CUSHURO FLOUR (*Nostoc sphaericum s.p.*)

### ABSTRACT

The trend in the consumption of plant-based products is increasing due to the growing concern about the sustainability and environmental effects of meat product production. In this context, a plant-based hamburger with a high protein content and a balanced profile of essential amino acids was made, combining tarwi flour (*Lupinus mutabilis*), black bean (*Phaseolus vulgaris*) and cushuro (*Nostoc sphaericum*). Tarwi is an Andean legume rich in protein (40-50%) and healthy fats (20%), while black beans are an important source of fiber and minerals. The cushuro, a high Andean cyanobacterium, has a high protein content and minerals such as iron and calcium. For the formulation of the plant-based hamburger, tarwi flour (45%), cushuro flour (2.33%), black beans (8.77%), carrots (3%), eggs (36%), mara salt (0.85%), oregano powder (0.75%), paprika powder (1.4%), ground garlic (0.9%) and onion powder (1%) were mixed. The results showed that the optimal sample (OM) presented 30.48% protein, 36.19% moisture, 22.06% fat and 8.91% carbohydrates, with a balanced amino acid profile, highlighting glutamic acid ( $196.16 \pm 4.77$  mg/g protein), arginine ( $145.91 \pm 4.75$  mg/g protein), aspartic acid ( $83.00 \pm 4.52$  mg/g protein). In addition, an antioxidant activity of 1502.19  $\mu\text{g}$  trolox/g was obtained, and in the sensory evaluation the OM reached an acceptability of 86.67%, standing out in flavor, texture and appearance compared to the control sample, which demonstrates its potential as a sustainable and nutritious protein alternative.

**Keywords:** Tarwi, cushuro, plant-based burger, protein

### INTRODUCCIÓN

El tarwi (*Lupinus mutabilis*) es una leguminosa originaria de los Andes, reconocida por su alto contenido de proteínas (40-50%), grasas saludables (20%) y una composición equilibrada de aminoácidos esenciales<sup>1</sup>. Aunque requiere un proceso de remojo y lavado para eliminar sus alcaloides, su valor nutricional y su versatilidad lo hacen una opción viable para el desarrollo de productos innovadores<sup>2</sup>. El frejol negro (*Phaseolus vulgaris*) es una leguminosa ampliamente cultivada en diversas regiones del mundo, particularmente en América Latina<sup>3</sup>. En Perú, su producción se concentra en departamentos como Lambayeque, Piura y La Libertad, donde su cultivo es esencial para la dieta básica<sup>4</sup>. El cushuro (*Nostoc sphaericum*) es una cianobacteria que crece en ambientes acuáticos de alta montaña, como lagunas y riachuelos, en regiones altoandinas del Perú como Junín, Huancavelica, Puno y Cusco; destacando por su alto contenido de proteínas (24-42%), ácidos grasos  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6, una notable cantidad de aminoácidos esenciales e hidrofóbicos, y minerales como hierro y calcio<sup>5,6</sup>.

En la actualidad, la creciente tendencia hacia la alimentación saludable y sostenible ha llevado a un aumento en la demanda de productos plant-based, como las hamburguesas elaboradas a partir de ingredientes de origen vegetal<sup>7</sup>. Se espera que este crecimiento del

mercado sea impulsado por la Generación Z y los millennials (de 16 a 40 años) con un 66%, estimando un aumento en el consumo de productos plant-based en los próximos 10 años<sup>8</sup>. Las Naciones Unidas estimó que para el año 2050, la población crecerá a 9700 millones de habitantes, este aumento exponencial de la población amenaza con reducir los niveles de seguridad alimentaria<sup>9,10</sup>. A pesar del crecimiento en la producción de alimentos y la diversidad de recursos disponibles, millones de personas aún sufren desnutrición e inseguridad alimentaria; ya que el sistema alimentario actual no ha podido proteger el medio ambiente y no ha garantizado el acceso a alimentos suficientes, sostenibles y nutricionalmente adecuados para todos<sup>11</sup>.

Las proteínas son esenciales para prevenir la desnutrición y favorecer un envejecimiento muscular saludable; sin embargo, los productos cárnicos altos en proteínas generan un impacto ambiental significativo debido a la demanda de grandes cantidades de recursos y por la emisión gases de efecto invernadero<sup>6</sup>. Por ello, la industria alimentaria está explorando nuevos ingredientes de origen vegetal, insectos y algas para desarrollar alimentos y bebidas con un buen perfil nutricional y alto contenido de proteínas, entre otros<sup>12</sup>. El presente estudio tuvo como objetivo diseñar y elaborar una hamburguesa plant-based a partir de frejol negro (*Phaseolus vulgaris*), tarwi (*Lupinus mutabilis*) y cushuro (*Nostoc sphaericum*), con un perfil balanceado de aminoácidos, alto contenido de proteína, grasas saludables y una presencia de niveles significativos de antioxidantes, comparándolas con una hamburguesa de control similar a las disponibles en el mercado y evaluar su potencial como alternativa sostenible y nutritiva.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Materia prima

El tarwi (*Lupinus mutabilis*), cushuro (*Nostoc sphaericum*) y frejol negro (*Phaseolus vulgaris*) fueron adquiridos en un mercado local de la ciudad de Lima y llevados al laboratorio de Alimentos Funcionales de la Universidad de Lima para su posterior procesamiento (lavado, secado, triturado, tamizado y mezclado). Los insumos fueron almacenados en una refrigeradora entre 2 a 5 °C.

### Procesamiento de harinas

La harina de tarwi se obtuvo según el procedimiento reportado por Pantoja et al.<sup>1</sup> Para ello, el tarwi precocido fue pelado y lavado manualmente hasta obtener un líquido transparente, luego se secó en un deshidratador por infrarrojo (IRCDi8, P2131) a 56,7 °C durante 5,5 h y molido en la trituradora de alimentos (RETSCH, modelo GM-200) a una velocidad de 10,000 rpm en 4 intervalos de 30 s para luego ser tamizado en un tamiz (Women Wire Mesh Sieves - Ø 120 µm), obteniendo una harina de color blanquecino, la cual se almacenó en bolsas aluminizadas a temperatura ambiente.

El cushuro se lavó y seco a 58 °C durante 24 h en un deshidratador por infrarrojo (IRCDi8, P2131), se molió en la trituradora de alimentos (RETSCH, modelo GM-200) a una velocidad de 10,000 rpm en 2 intervalos de 30 s y se tamizó en un tamiz (Women Wire Mesh Sieves - Ø 300 µm), obteniendo la harina de color verde oscuro, el cual se almacenó en bolsas aluminizadas a temperatura ambiente.

Para la muestra de control, se utilizó harina de quinua, la cual se obtuvo utilizando el método desarrollado<sup>1</sup>. Para ello, la quinua fue lavada, y luego secada en un deshidratador por infrarrojo (IRCDi8, P2131) a 57 °C por 4,5 h y molida en la trituradora de alimentos (RETSCH, modelo GM-200) a una velocidad de 10,000 rpm en 3 intervalos de 30 s para finalmente ser tamizado en un tamiz (Women Wire Mesh Sieves - Ø 120 µm) y luego fue almacenado en bolsas aluminizadas a temperatura ambiente.

Para la preparación de la pasta de frejol negro, primero éste se remojó con agua durante 12 h, según la recomendación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), para facilitar la digestión y mejorar la absorción de nutrientes<sup>13</sup>. Luego, se cocinó a una temperatura de 130 °C durante 4 h, se almacenó y se enfrió en una refrigeradora (Electrolux Top Mount Frost) durante 1 h y se molió en una licuadora comercial (OSTER 2L BLSTTDG-RGB-053) a 5,000 rpm en 3 intervalos de 50 s hasta formar una pasta de color negro. Finalmente se almacenó en bolsas aluminizadas a 5°C.

### Diseño experimental

El procedimiento se basó en un diseño de mezcla de centroide simplex mediante el software Minitab 19 (Minitab Inc., USA)<sup>14</sup>. Para ello, se definieron dos variables independientes: X1 (harina de cushuro) y X2 (frejol negro), los cuales se muestran en la Tabla 1. Como variables de respuesta (Y), se evaluaron el contenido de humedad (%), proteína (%) y actividad de agua ( $a_w$ ). Por último, se seleccionó la formulación óptima a través del software Minitab 19 (Minitab Inc., USA).

Tabla 1. Diseño experimental (DOE)

Formulaciones	Orden estándar	Orden de ejecución	Tipo de punto	Bloques	Harina de cushuro (%) (X1)	Frejol negro (%) (X2)
M1	2	1	1	1	0	100
M2	5	2	-1	1	25	75
M3	3	3	0	1	50	50
M4	1	4	1	1	100	0
M5	4	5	-1	1	75	25

### Formulación de las muestras

Se prepararon 5 muestras con diferentes cantidades de harina de cushuro (0-11%) y frejol negro (0-11%), basado en el diseño experimental de la Tabla 1; con concentraciones de harina de tarwi (45,00%), zanahoria (3,00%), huevo (36%), sal de mara (0,85%), orégano en polvo (0,75%), páprika en polvo (1,40%), ajo molido (0,90%) y cebolla en polvo (1,00%), como se muestra en la Tabla 2. Todos los ingredientes (20g) se mezclaron y amasaron de manera manual y uniforme en un bol de acero inoxidable; y fue refrigerado durante 15 min para que se termine de compactar. Finalmente, se le dio la forma circular a la masa y se almacenaron en bolsas de polietileno y conservadas en refrigeración (Electrolux Top Mount Frost) a temperatura de 4 °C para su uso posterior. Para la muestra de control (MC) se realizó el mismo procedimiento, reemplazando la harina de tarwi y cushuro por la harina de quinua.

**Tabla 2.** Formulaciones de las muestras de hamburguesa plant-based con harina de cushuro y frejol negro

Ingredientes	Formulaciones (g/%)				
	M1(g / %)	M2(g / %)	M3 (g / %)	M4 (g / %)	M5 (g / %)
<b>Harina de tarwi</b>	9,00 / 45,00	9,00 / 45,00	9,00 / 45,00	9,00 / 45,00	9,00 / 45,00
<b>Harina de cushuro</b>	2,22 / 11,10	1,67 / 8,35	1,11 / 5,55	0,00 / 0,00	0,56 / 2,80
<b>Frejol</b>	0,00 / 0,00	0,56 / 2,80	1,11 / 5,55	2,22 / 11,10	1,67 / 8,35
<b>Zanahoria</b>	0,60 / 3,00	0,60 / 3,00	0,60 / 3,00	0,60 / 3,00	0,60 / 3,00
<b>Huevo</b>	7,20 / 36,00	7,20 / 36,00	7,20 / 36,00	7,20 / 36,00	7,20 / 36,00
<b>Sal de mara</b>	0,17 / 0,85	0,17 / 0,85	0,17 / 0,85	0,17 / 0,85	0,17 / 0,85
<b>Orégano</b>	0,15 / 0,75	0,15 / 0,75	0,15 / 0,75	0,15 / 0,75	0,15 / 0,75
<b>Paprika en polvo</b>	0,28 / 1,40	0,28 / 1,40	0,28 / 1,40	0,28 / 1,40	0,28 / 1,40
<b>Ajo molido</b>	0,18 / 0,90	0,18 / 0,90	0,18 / 0,90	0,18 / 0,90	0,18 / 0,90
<b>Cebolla en polvo</b>	0,20 / 1,00	0,20 / 1,00	0,20 / 1,00	0,20 / 1,00	0,20 / 1,00
<b>Total</b>	20,00 / 100	20,00 / 100	20,00 / 100	20,00 / 100	20,00 / 100

### Análisis proximal

Este análisis se realizó según métodos oficiales de la AOAC<sup>15</sup>. El nitrógeno total se determinó empleando el método Kjeldahl, multiplicando el resultado por un factor de conversión (6,25) para determinar el contenido de proteína. La humedad se determinó a 105 °C hasta peso constante empleando una termobalanza (SARTORIOUS, MA30). Para el contenido de grasa se determinó con éter de petróleo por el método Soxhlet, mientras que las cenizas se determinaron por incineración a 550 °C durante 72 h en una mufla (KALSTEIN, YR05284-1). Como diferencia se calculó el contenido de carbohidratos disponibles, considerando los valores de proteína, humedad, grasa total y cenizas.

### Determinación de perfil de aminoácidos

El perfil de aminoácidos se realizó de acuerdo al procedimiento descrito por Chasquibel et al.<sup>16</sup> Los aminoácidos se determinaron mediante hidrólisis ácida. Las muestras de proteína (4 mg) fueron colocadas en tubos Pyrex con tapa rosca, luego se le agregaron 4 mL de HCl 6 mol.L<sup>-1</sup> y llevados a una estufa (Memmert, TwinDISPLAY) a 110 °C durante 24 h. Las muestras hidrolizadas se secaron en un rotavapor (Heidolph, VV-micro) y luego se redisolviéron en una solución de borato de sodio 1 mol.L<sup>-1</sup> con azida de sodio al 0,02%, ajustando el pH a 9,0. Luego, las muestras se filtraron a través de un filtro de 0,45 µm y se inyectaron en un equipo HPLC (Waters, Acquity Arc), utilizando ácido D,L- $\alpha$ -aminobutírico como patrón interno y una columna de fase reversa de 300 mm  $\times$  3,9 mm. Los resultados fueron analizados a través del software Empower 3. La cuantificación del triptófano se determinó según el método descrito por Yust et al.<sup>17</sup> Todos los análisis se realizaron por triplicado y se presentaron como valores medios.

### Actividad de agua (Aw)

Este parámetro se determinó empleando un medidor de actividad de agua (VTSYIQI, WA-160A)

### Actividad Antioxidante

La actividad antioxidante se evaluó utilizando el método DPPH a 517 nm<sup>18</sup>, empleando un espectrofotómetro (UV 1280 Vis Spectrophotometer Shimadzu, Kyoto, Japón). Las muestras de 15 mg se resuspendieron en 4,5 mL de una mezcla formada por metanol (1 mL), ácido acético (1,5 ML) y agua (2 mL), luego se agitaron en un vortex (WiseMix, VM-10) durante 1 minuto y se calentaron en un baño María (MEMMERT, WNB-22) por 20 min a 80 °C. Después, se agregaron 3,9 mL de solución de radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), se agitaron en un vortex por 1 min y se dejó en reposo en oscuridad por 24 h. Los resultados se expresaron en µg trolox/g.

### Análisis sensorial

Se utilizó un panel de 30 personas, con edades entre 18 y 30 años, quienes calificaron los atributos de color, olor, textura, sabor y apreciación general. La prueba se realizó con base en una escala hedónica de 9 puntos (1 = Me disgusta y 9 = Me gusta).

### Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como media ± desviación estándar. Las mediciones se determinaron por triplicado. Para el análisis de los resultados obtenidos, se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 95% mediante el software Minitab 19 (Minitab Inc., EE.UU.).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Optimización de la formulación

Según las variables de respuesta estimadas con el software Minitab 19 (Tabla 3), se empleó la herramienta de optimización de respuestas para determinar la formulación óptima, priorizando un contenido mínimo de humedad y un máximo de proteína. Como resultado, la hamburguesa plant-based optimizada (MO) debe contener 1,75 g de frejol negro y 0,47 g de cushuro, lo que permite obtener un contenido teórico de humedad de  $34,22 \pm 0,49\%$  y un contenido teórico de proteína de  $31,52 \pm 0,58\%$ , como se muestra en la Figura 1.

**Tabla 3.** Composición química promedio (%)

Formulaciones	Harina de cushuro (%) (X1)	Frejol negro (%) (X2)	Humedad (%)	Proteína (%)	Actividad de agua (a <sub>w</sub> )
M1	0	100	33,76 ± 3,0	31,79 ± 0,9	0,79 ± 0,01
M2	25	75	36,38 ± 1,9	2,14 ± 1,1	0,77 ± 0,01
M3	50	50	36,1 ± 0,6	33,81 ± 1,0	0,79 ± 0,01
M4	100	0	32,21 ± 2,6	30,25 ± 1,0	0,80 ± 0,01
M5	75	25	34,35 ± 1,0	31,23 ± 0,7	0,80 ± 0,01

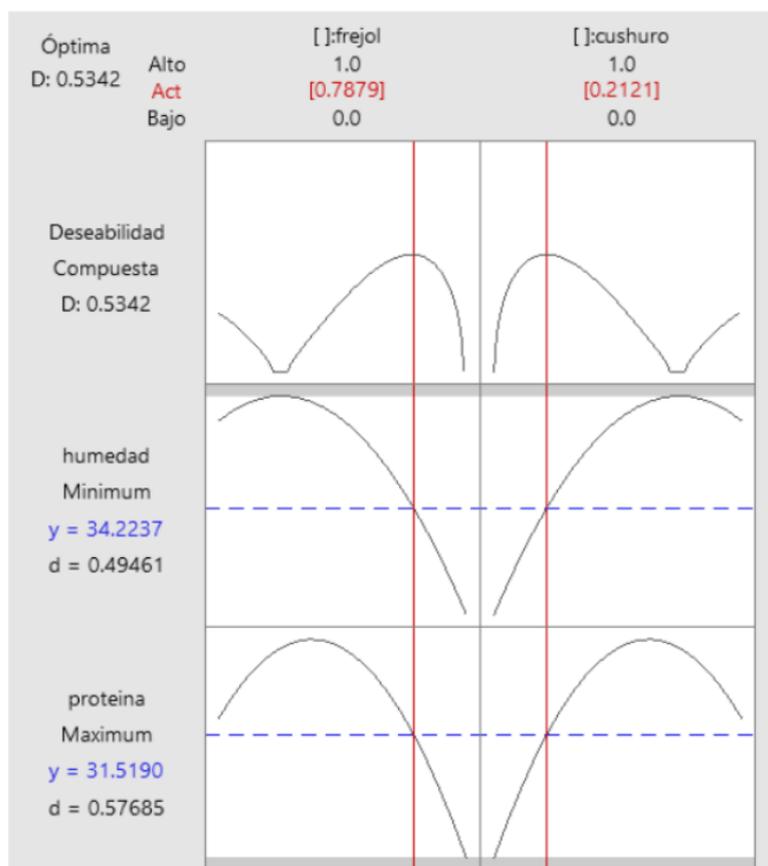


Figura 1. Gráfico de respuestas previstas

### Composición proximal

En la Tabla 4, se presenta la composición proximal de la muestra óptima (MO) y la muestra de control (MC).

Tabla 4. Composición proximal de la muestra optimizada

Muestra	% Proteína	% Humedad	% Grasa	% Ceniza	% Carbohidratos
MC	7,68 ± 1,40	38,40 ± 1,36	11,78 ± 0,78	3,62 ± 0,10	38,52 ± 2,20
MO	30,48 ± 0,93	36,19 ± 0,74	22,06 ± 1,80	2,37 ± 0,09	8,91 ± 1,58

De acuerdo con la Tabla 4, el contenido de proteína de la MO (30,48%) fue estadísticamente mayor que la MC (7,68%), debido al aporte proteico de la harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y cushuro (*Nostoc sphaericum*)<sup>19</sup>. Además, fue superior a lo reportado por Hollweg et al. (11,30%)<sup>7</sup>, Gamarra et al. (13,13%)<sup>20</sup> y Biazotto et al. (13,55%)<sup>8</sup>, esto se debe a que dichos estudios utilizaron proporciones de agua del 10 al 15%, lo que generó una dilución y reducción de los nutrientes, como la proteína, en sus formulaciones<sup>7</sup>. El contenido de humedad de ambas muestras varió entre 36,19-38,40%, lo cual fue menor a lo reportado por Gamarra et al. (57,38%)<sup>20</sup>, quienes utilizaron insumos similares. El contenido de grasa de la MO (22,06%) fue superior que la MC (11,78%) y lo reportado por Gamarra et al. (10%)<sup>20</sup>; esto se debe al aporte de grasa del tarwi, el cual posee mayores cantidades de ácidos grasos monoinsaturados que poliinsaturados y

saturados<sup>21</sup>. El contenido de cenizas de la MC (3,62%) y MO (2,37%) fue menor a lo reportado por Gamarra et al. (8,85%)<sup>20</sup>, pero similar al de Hollweg et al. (2,5%)<sup>7</sup> y Biazotto et al. (2,69%)<sup>8</sup>.

### Perfil de aminoácidos

El perfil de aminoácidos de las muestras MC y MO (Tabla 5), muestra que los aminoácidos predominantes de la MO fueron el ácido aspártico ( $83,00 \pm 4,52$  mg/g proteína), serina ( $57,35 \pm 4,38$  mg/g proteína) y ácido glutámico ( $196,16 \pm 4,77$  mg/g proteína), en comparación con la MC. La proteína del tarwi contiene altos niveles de ácido glutámico y arginina, pero es deficiente en triptófano, resultado que coincide con lo reportado por Camarena et al. ( $0,7$  mg/g proteína)<sup>22</sup> y con el contenido de triptófano de la muestra óptima ( $5,41 \pm 0,88$  mg/g proteína)<sup>23</sup>. Si bien el perfil de aminoácidos esenciales de la MO se ajusta a la cantidad recomendada de la FAO/OMS para una nutrición saludable, presenta limitaciones en tirosina ( $21,02 \pm 2,80$  mg/g proteína), metionina ( $11,66 \pm 0,41$  mg/g proteína) y triptófano ( $5,41 \pm 0,88$  mg/g proteína)<sup>24</sup>. En cambio, la MC cumple con dichas recomendaciones, a excepción de la tirosina ( $33,82 \pm 2,86$  mg/g proteína), lo que sugiere realizar mezclas de pseudocereales andinos (quinua, kiwicha) y leguminosas (tarwi), para mejorar el cómputo aminoacídico y la calidad biológica de la proteína<sup>19</sup>.

**Tabla 5.** Perfil de aminoácidos de la muestra de control (MC) y la muestra hamburguesa optimizada (MO)

Aminoácidos	mg de aminoácidos/ g proteína		
	MC	MO	FAO
Ácido aspártico	$74,70 \pm 2,69$	$83,00 \pm 4,52$	
Ácido glutámico	$112,25 \pm 3,07$	$196,16 \pm 4,77$	
Serina	$44,24 \pm 3,81$	$57,35 \pm 4,38$	
Histidina	$14,21 \pm 3,71$	$22,34 \pm 2,63$	15
Glicina	$45,97 \pm 3,29$	$37,26 \pm 3,68$	
Treonina	$45,36 \pm 4,01$	$40,63 \pm 4,37$	23
Arginina	$147,37 \pm 2,28$	$145,91 \pm 4,75$	
Alanina	$28,52 \pm 4,72$	$4,33 \pm 0,70$	
Prolina	$62,66 \pm 3,41$	$60,60 \pm 4,32$	
Tirosina	$33,82 \pm 2,86$	$21,02 \pm 2,80$	38
Amoníaco	$44,10 \pm 2,97$	$46,13 \pm 3,38$	
Valina	$78,73 \pm 4,71$	$45,86 \pm 3,87$	39
Metionina	$21,81 \pm 3,18$	$11,66 \pm 0,41$	22
Cisteína	$4,40 \pm 0,73$	$4,99 \pm 0,64$	
Isoleucina	$39,61 \pm 2,30$	$43,44 \pm 4,26$	30
Leucina	$89,33 \pm 3,06$	$83,42 \pm 4,45$	59
Fenilalanina	$61,03 \pm 3,83$	$44,39 \pm 4,12$	
Lisina	$45,16 \pm 3,99$	$46,18 \pm 4,16$	45
Triptófano	$6,96 \pm 0,95$	$5,41 \pm 0,88$	6

### Antioxidantes y actividad de agua

En la Tabla 6 se muestran los resultados de la actividad antioxidante y actividad de agua. Los resultados obtenidos indican que la MO presentó una actividad antioxidante de 1502,19  $\mu\text{g}$  trolox/g, la cual fue superior que la MC (1285,01  $\mu\text{g}$  trolox/g) y lo reportado por Kołodziejczak et al. (307,86  $\mu\text{g}$  trolox/g), esto se debe a la baja incorporación de compuestos antioxidantes en su formulación de hamburguesa vegetal a base de papa con aceite de oliva<sup>25</sup>. Sin embargo, fue inferior a lo reportado por Abdullah et al. (2044,87  $\mu\text{g}$  trolox/g) en su elaboración de hamburguesas a base soya<sup>26</sup>; esto se debe a la reducción de los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante del tarwi durante el proceso de desamargado y cocción para su conversión en harina, ya que algunos antioxidantes son solubles en agua y sensibles a temperaturas de elevadas<sup>27</sup>. No obstante, la presencia de niveles significativos de antioxidantes de la MO sugiere su potencial como alimentos funcionales, capaces de contribuir a la prevención de enfermedades crónicas asociadas con el estrés oxidativo, como las enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas<sup>28</sup>.

**Tabla 6.** Resultados de antioxidantes y actividad de agua

Muestra	DPPH ( $\mu\text{g}$ trolox/g)	Actividad de agua ( $a_w$ )
MO	1502,19	0,79
MC	1285,01	0,81

La  $a_w$  de la MO y la MC son de 0,79 y 0,81, respectivamente, sin diferencias significativas entre sí ( $p > 0,05$ ). Los alimentos con un  $a_w$  mayor a 0,6 son microbiológicamente inestables, ya que la mayor cantidad de agua libre facilita el crecimiento de microorganismos como bacterias, mohos y levaduras; a su vez, provoca una vida útil más corta debido al deterioro microbiológico que afectan la calidad sensorial del producto<sup>29</sup>. Por ello, es necesario almacenar las hamburguesas plant-based a temperatura de enfriamiento (4 °C) o congelación (-18 °C) de acuerdo con las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

### Análisis sensorial

Los resultados del análisis sensorial se muestran en la Figura 2. La textura y el color mostraron poca variación al comparar la MC con la MO. Aunque todas las hamburguesas contenían muy poca humedad, la muestra de control fue la menos preferida por el sabor ( $4,56 \pm 0,45$ ) así como la textura ( $4,26 \pm 0,51$ ). En contraste, la MO tuvo un mejor sabor ( $8,49 \pm 0,51$ ) y color ( $8,66 \pm 0,81$ ), fue descrita como más “sabrosa” por los panelistas. En resumen, las hamburguesas tuvieron una aceptabilidad del 86,67%, considerando valores iguales o superiores a cinco (6,7). La MO fue la más aceptada por los panelistas con una puntuación de  $7,46 \pm 0,31$ . Este resultado fue similar con lo reportado por Hollweg et al. para hamburguesas vegetales de proteína de soya texturizada<sup>7</sup>.



**Figura 2.** Análisis sensorial de las muestras MO y MC

## CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que la hamburguesa plant-based optimizada (MO), elaborada a partir de harina de tarwi (45%), frejol negro (8,75%) y cushuro (2,35%), presentó un alto contenido de proteína ( $30,48 \pm 0,93\%$ ), grasas ( $22,06 \pm 1,80\%$ ) y antioxidantes ( $1502,19 \mu\text{g trolox/g}$ ) en comparación con la muestra de control (MC) y los resultados de estudios anteriores sobre hamburguesas elaboradas con ingredientes similares. Además, la MO presentó un perfil balanceado de aminoácidos esenciales de acuerdo con la cantidad recomendada de la FAO/OMS, siendo mayoritarios el ácido glutámico, arginina, ácido aspártico, prolina, leucina y serina. La evaluación sensorial indicó que los panelistas valoraron favorablemente los atributos de sabor, textura y apariencia de la MO en comparación con la muestra de control (MC), posicionándola como una opción atractiva tanto a consumidores vegetarianos y veganos como para aquellos que buscan opciones sostenibles y saludables. La propuesta resalta el valor de los superalimentos andinos, como el tarwi y el cushuro en el desarrollo de productos innovadores, promoviendo su aprovechamiento y su incorporación en soluciones alimenticias alineadas con las tendencias actuales de sostenibilidad y funcionalidad.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Laboratorio de Alimentos Funcionales de la Universidad de Lima por su asesoramiento en el uso de los equipos de laboratorio y en el análisis de las muestras para el desarrollo de este trabajo de investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pantoja-Tirado L, Prieto-Rosales G, Aguirre E. Caracterización de la harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y la harina de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) para su industrialización. Rev Tayacaja. 2020 Jun 30;3(1): 76-83. doi:10.46908/rict.v3i1.72

2. Huaranga-Joaquín A, García-Bendezú S, Pinedo-Taco R, Camarena-Mayta F. Caracterización de las unidades de producción de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet). Trop Subtrop Agroecosyst. 2023 Sep 1;26(3). doi:10.56369/tsaes.4722.
3. Kaur A, Kaur P, Singh N, Viridi AS, Singh P, Rana JC. Grains, starch and protein characteristics of rice bean (*Vigna umbellata*) grown in Indian Himalaya regions. Food Res Int. 2013 Nov 1;54(1):102–10. doi:10.1016/j.foodres.2013.05.019.
4. Saakshi, Thakur CL, Bhardwaj DR, Sharma U, Bhatia AK, Sharma S, et al. Growth and yield responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to tree lopping and organic manure under Morus-based agri-silvicultural system. Trees For People. 2025 Mar 1;19:100745. doi:10.1016/j.tfp.2024.100745.
5. Chasquibol N, Sotelo A, Tapia M, Alarcon R, Goycoolea FM, Hernández-Álvarez AJ. Evaluation of cushuro (*Nostoc sphaericum*) as an alternative source of minerals, functional protein and bioactive peptides. LWT. 2025 Feb 1;217:117426. doi:10.1016/j.lwt.2025.117426.
6. Ramírez-Rodrigues MM, Estrada-Beristain C, Metri-Ojeda J, Pérez-Alva A, Baigts-Allende DK. *Spirulina platensis* protein as sustainable ingredient for nutritional food products development. Sustainability (Switzerland). 2021 Jun 2;13(12): 6849. doi:10.3390/su13126849.
7. Hollweg G, Trindade PCO, dos Santos BA, Padilha M, Fracari PR, Rosa SC, et al. Development of Plant-Based Burgers with Partial Replacement of Texturized Soy Protein by *Agaricus bisporus*: Effects on Physicochemical and Sensory Properties. Foods. 2024 Nov 1;13(22):3583. doi:10.3390/foods13223583.
8. Biazotto KR, Xavier ACH, de Mattos RR, Furlan JM, Wagner R, Bandoni DH, et al. Plant-Based Burgers in the Spotlight: A Detailed Composition Evaluation and Comprehensive Discussion on Nutrient Adequacy. Foods. 2025 Jan 23;14(3):372. doi: 10.3390/foods14030372.
9. Koyande AK, Chew KW, Rambabu K, Tao Y, Chu DT, Show PL. Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. Food Sci Hum Wellness. 2019 Mar 1;8(1):16–24. doi:10.1016/j.fshw.2019.03.001.
10. Naciones Unidas. El fuerte crecimiento poblacional supondrá un reto para lograr un desarrollo sostenible [Internet]. Naciones Unidas. [consultado 12 dic 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/es/desa/commission-on-population-and-development52>
11. el Bilali H, Callenius C, Strassner C, Probst L. Food and nutrition security and sustainability transitions in food systems. Food Energy Secur. 2019;8(2):e00154. doi:10.1002/fes3.154.
12. Julianti E, Susanti, Singgih M, Neti Mulyani L. Optimization of extraction method and characterization of phycocyanin pigment from *Spirulina platensis*. J Math Fund Sci. 2019;51(2):168–76. doi:10.5614/j.math.fund.sci.2019.51.2.6.
13. FAO. Beneficios de las legumbres para la salud. [Internet].2016.[consultado 15 dic 2024]. Disponible en: [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/pulses2016/docs/factsheets/Health\\_SP\\_PRINT.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/pulses2016/docs/factsheets/Health_SP_PRINT.pdf)
14. Castañeda P, Chasquibol N. Development of Instant Puree from Native Potatoes (*Solanum andigenum*) and Black Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) Fortified with Black Quinoa (*Chenopodium quinoa*). Biol Life Sci Forum. 2024;37(1):7. doi: 10.3390/blsf2024037007.

15. AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C., USA: AOAC International; 2005: 1(18):2-45.
16. Chasquibol N, Gonzales BF, Alarcón R, Sotelo A, Márquez-López JC, Rodríguez-Martin NM, et al. Optimisation and Characterisation of the Protein Hydrolysate of Scallops (*Argopecten purpuratus*) Visceral By-Products. *Foods*. 2023 May 15;12(10):2003. doi: 10.3390/foods12102003.
17. Yust MM, Pedroche J, Girón-Calle J, Vioque J, Millán F, Alaiz M. Determination of tryptophan by high-performance liquid chromatography of alkaline hydrolysates with spectrophotometric detection. *Food Chem*. 2004 Apr 1;85(2):317–20. doi:10.1016/j.foodchem.2003.07.026.
18. Chasquibol N, Alarcón R, Gonzales BF, Sotelo A, Landoni L, Gallardo G, et al. Design of Functional Powdered Beverages Containing Co-Microcapsules of Sacha Inchi *P. huayllabambana* Oil and Antioxidant Extracts of Camu Camu and Mango Skins. *Antioxidants (Basel)*. 2022 Jul 22;11(8):1420. doi: 10.3390/antiox11081420.
19. Apaza Ahumada MG. Efecto del consumo de cultivos andinos quinua, cañihua y tarwi sobre el incremento de peso y nitrógeno retenido en ratas wistar. *Rev Investig Altoandin*. 2019 Jul 31;21(3):194–204. doi:10.18271/ria.2019.477.
20. José GCO. Diseño de un sucedáneo de hamburguesa a partir de proteína de origen fúngico (*Aspergillus oryzae*) [Internet]. Repositorio Institucional Séneca, Universidad de los Andes. 2022. [consultado 10 nov 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/55486>
21. Ortiz-Sempértegui J, Ibieta G, Tullberg C, Peñarrieta JM, Linares-Pastén JA. Chemical Characterisation of New Oils Extracted from Cañihua and Tarwi Seeds with Different Organic Solvents. *Foods*. 2024 Jun 24;13(13):1982. doi: 10.3390/foods13131982.
22. Camarena F. Revalorización de un cultivo subutilizado: Chocho o Tarwi, (*Lupinus mutabilis* Sweet). Lima, Perú: UNALM; 2012.
23. Chirinos-Arias. Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) una planta con potencial nutritivo y medicinal. *Rev Bio Ciencias*. 2015;3(3):163–72. doi:10.15741/revbio.03.03.03.
24. Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. Protein and amino acid requirements in human nutrition. WHO Tech Rep Ser. 935. Geneva, Switzerland: WHO; 2007.
25. Kołodziejczak K, Onopiuk A, Szpicer A, Poltorak A. The Effect of Type of Vegetable Fat and Addition of Antioxidant Components on the Physicochemical Properties of a Pea-Based Meat Analogue. *Foods*. 2023 Dec 24;13(1):71. doi: 10.3390/foods13010071.
26. Abdullah FAA, Dordevic D, Kabourkova E, Zemancová J, Dordevic S. Antioxidant and Sensorial Properties: Meat Analogues versus Conventional Meat Products. *Processes*. 2022 Sep 1;10(9): 1864. doi:10.3390/pr10091864.
27. Jiménez-Martínez C, Hernández-Sánchez H, Dávila-Ortiz G. Diminution of quinolizidine alkaloids, oligosaccharides and phenolic compounds from two species of *Lupinus* and soybean seeds by the effect of *Rhizopus oligosporus*. *J Sci Food Agric*. 2007 May;87(7):1315–22. doi:10.1002/jsfa.2851.
28. Huang D, Boxin OU, Prior RL. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *J Agric Food Chem*. 2005 Mar 23;53(6):1841-56. doi: 10.1021/jf030723c.
29. Thwe SY, Au DJE, Tan KL, Neo YP, Chew LY. Development of Plant-Based Burger Patties Using Vegan Staples Like Tofu and Tempeh: An Exploration Study Among the Young Adults. *J Culin Sci Technol*. 2024; 1–15. doi:10.1080/15428052.2024.2356840.