

**COMPOSICIÓN QUÍMICA, VALOR BIOLÓGICO Y  
GLUCOSINOLATOS DE HARINA DE MACA NEGRA  
(*Lepidium meyenii* W.) EXTRUIDA Y OBTENCION DE MEZCLA  
CON AVENA (*Avena sativa*)**

Mery Baquerizo Canchumanya<sup>a</sup>, Lucy Córdova Ponce<sup>b</sup>, Cesar Samaniego Rafaele<sup>a</sup>,  
Fredy Yábar Villanueva<sup>b</sup>, Luis Artica Mallqui<sup>b</sup>, Vilma Reyes De la Cruz<sup>b</sup>

**RESUMEN**

El objetivo de este estudio fue determinar la composición química, contenido de glucosinolatos y valor biológico de la harina de maca negra extruida y su mezcla con avena. Se recolectó la maca negra, se sometió a deshidratado, extruido y molienda, obteniéndose harina extruida y luego analizada, después se mezcló con avena precocida en tres proporciones diferentes (p/p), avena: harina de maca extruida (80:20; 85:15 y 90:10). Los resultados de la composición química de la harina de maca negra extruida fueron proteína 11,62% y ceniza 4,28% destacando su contenido de hierro 30,71mg/100g y aminoácidos esenciales como lisina, valina, treonina, leucina, isoleucina y arginina. El contenido de glucosinolatos totales de harina de maca extruida fue  $7,93 \pm 0,17 \mu\text{mol/g}$  (b.s). La evaluación sensorial de la mezcla presentó diferencia significativa entre mezclas resultando la más aceptable la proporción 20:80. Esta mezcla presentó un Valor Biológico aparente (VB) de 63,49% y una digestibilidad aparente (DA) de 71,66%. La harina de maca negra extruida es una buena alternativa para ser utilizada en mezclas alimenticias por su alto contenido en hierro y aminoácidos esenciales y también por su buena digestibilidad por estar extruida.

**Palabras clave:** aminoácidos, hierro, digestibilidad, harina extruida

**CHEMICAL COMPOSITION, BIOLOGICAL VALUE AND  
GLUCOSINOLATES FROM BLACK MACA  
(*Lepidium meyenii* W.) EXTRUDED FLOUR AND THE  
OBTENTION OF A MIXTURE WITH OAT (*Avena sativa*)**

**ABSTRACT**

The objective of this study was to determine the chemical composition, glucosinolate content and biological value of extruded black maca flour and its mixture with oats. The black maca was collected, subjected to dehydration, extruded and grinding, obtaining extruded flour and

<sup>a</sup> Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional del Centro del Perú Av. Mariscal Castilla 3909, El tambo-Huancayo-Perú. mbaquerizo@uncp.edu.pe

<sup>b</sup> Facultad de Industrias alimentarias, Universidad Nacional del Centro del Perú

then analyzed, then it was mixed with precooked oats in three different ratios (w / w), oats: extruded black maca flour (80:20; 85:15 and 90:10). The results of the chemical composition of the extruded black maca flour were protein 11.62% and ash 4.28%, highlighting its iron content 30.71mg / 100g and essential amino acids such as lysine, valine, threonine, leucine, isoleucine and arginine. The total glucosinolate content of extruded maca flour was  $7.93 \pm 0.17 \mu\text{mol} / \text{g}$  (b.s). The sensory evaluation of the mixture showed a significant difference between mixtures, the ratio 20:80 being the most sensory acceptable. This mixture presented an apparent Biological Value (BV) of 63.49% and an apparent digestibility (DA) of 71.66%. Extruded black maca flour is a good alternative to be used in food mixes due to its high content of iron and essential amino acids and also due to its good digestibility because it is extruded.

**Keywords:** amino acids, iron, digestibility, extruded flour

## INTRODUCCIÓN

La maca (*Lepidium meyenii* Walp.), perteneciente a la familia Brassicaceae, es una planta cultivada en la sierra central de los Andes en Perú entre los 4000–4500 msnm<sup>1</sup>, es cultivada sobre suelo muy pobre y rocoso y crecen en extremas condiciones climáticas tales como fríos, fuertes vientos y luz solar intenso<sup>2</sup>, la maca se adapta bien a condiciones climáticas extremas de frío, fuertes radiaciones UV, bajo nivel de oxígeno y climas caprichosos<sup>3</sup>, se adaptó en otras partes del mundo como en Yunnan Provincia de China<sup>4</sup>. Se ha encontrado que la maca presenta diferentes colores, identificándose hasta 13 variaciones desde el color crema, amarillo, hasta el color púrpura y negro, la diferencia en la coloración es debido a la variación de contenido de antocianinas y carotenoides<sup>5</sup>. Siendo los más conocidos el amarillo, seguido del rojo y negro. Se han reportado diferencias genéticas y fitoquímicas entre los diferentes colores de hipocótilos<sup>6</sup>.

La maca es apreciada debido a que se han descubierto propiedades nutricionales y funcionales que se atribuyen a sus componentes almidón, fibra dietaria, proteína, minerales, polifenoles (flavolignanos), macaenos, macamidas, glucosinolatos<sup>7</sup>. Su consumo se ha relacionado con la mejora en la salud reproductiva<sup>7</sup>, también en la maca encontraron Flavonolignanos que están relacionados con líneas celulares antiinflamatorias y de cáncer humano<sup>8</sup>, en ensayos in vitro demostraron que el extracto de maca tiene actividad antiviral, lo que brindaría notables beneficios terapéuticos en infecciones por influenza<sup>9</sup>, en otro estudio se administró harina de maca amarilla a ratas albinas Holtzmann con diabetes inducida, encontraron que reguló el azúcar de la sangre, debido al mejoramiento del metabolismo glucosídico y aumentando el nivel de insulina, además se incrementó la defensa antioxidante protegiendo el daño oxidativo por la diabetes<sup>10</sup>.

Por otro lado, se aisló de la maca un polisacárido denominado arabinogalactona, que exhibió una moderada capacidad antioxidante para DPPH, ABTS, superóxidos y radicales hidroxilos, inhibición de peroxidación de lípidos y poder reductor, además el arabinogalactona, puede ser explotado como un antioxidante natural<sup>11</sup>. También por la presencia de glucosinolatos y

sus derivados en la maca, se han relacionado con presentar propiedades anticancerígenas, ya que estos actúan como bloqueadores de la formación de tumores al inicio, a través de la modulación de actividades de fase I y II, las enzimas se biotransforman y suprimen los tumores mediante apoptosis<sup>12</sup>.

Sin embargo, estos componentes pueden variar, dependiendo de varios factores. Así como las condiciones de crecimiento de la maca influyen en el contenido de metabolitos<sup>13</sup> las áreas de cultivo y el color de la maca influyen en la variación de la composición química y en los metabolitos bioactivos de la maca<sup>4</sup>. También, se encontró que el contenido de glucosinolatos presenta disminución durante el deshidratado poscosecha<sup>14</sup>, además se encontró que hay variación de glucosinolatos en los tres hipocotilos rojo, amarillo y negro<sup>6</sup>.



**Figura 1.** a) Maca negra fresca y b) maca negra seca.

En la región de Pasco en Perú hay una gran producción de maca de diferentes ecotipos, entre estos destaca la maca negra, sobre la cual no hay suficiente información específica sobre sus componentes nutricionales y contenido de glucosinolatos, en tal sentido el objetivo fue obtener harina de maca negra extruida y determinar su valor nutricional y aplicar en una mezcla con avena.

## PARTE EXPERIMENTAL

Obtención de muestra. La maca negra caracterizada taxonómicamente como (*Lepidium Meyenii Walper*) fue obtenida de la asociación de productores Sierra Morena Departamento de Pasco y la avena (*Avena sativa*) fue adquirida en el mercado de la Ciudad de Pasco. La maca negra fue deshidratada a temperatura ambiente (-10 a 15°C) y humedad relativa de 70% a 75%, durante 90 días, luego se sometió a molienda gruesa para la obtención del griz de 2mm a 3 mm de espesor y se ajustó la humedad a 14% y se llevó a extrusión a 140°C por 30 segundos a una velocidad de tornillo de 500 revoluciones por minuto (rpm) y posterior molienda en molino de martillo para la obtención de harina (tamaño de partícula de 0,125 mm). La avena fue sometida a un proceso de tostado a 100°C por 15 minutos y posteriormente fue laminada para la obtención de hojuelas.

**Composición química proximal.** Se determinó la humedad mediante el método de la estufa a 105°C, la proteína por el método Kjeldahl, la grasa por el método soxhlet, la fibra bruta mediante la digestión ácida y alcalina y cenizas por el método de incineración en una mufla (AOAC, 2000)<sup>15</sup>.

**Contenido de minerales.** Se realizó evaluaciones de los minerales calcio mediante el método AOAC (2005) 927.02<sup>16</sup>; Fósforo, se analizó según el método AOAC (2005) 965.17<sup>16</sup> y Hierro, según el método AOAC (2005) 944. 02<sup>16</sup>.

**Contenido de glucosinolatos.** Se empleó el método propuesto por Verkerk *et al.*<sup>17</sup> con algunas modificaciones, descrito en detalle por Yábar *et al.*<sup>14</sup>. La harina de maca negra, seca o harina de maca extruida (~1 g MS) se mezcló con 10 ml de metanol (70%), se incubó en baño maría (75 °C) x 25 min, luego se centrifugó (4500 g x 20 min), recolectándose el sobrenadante. La parte sedimentada se volvió a re-extraer en condiciones similares al anterior; se mezclaron los sobrenadantes (extracto de glucosinolatos). Se procedió a la purificación empleando una columna de intercambio aniónico DEAE Sephadex A-25 de 1.5 cm, previamente activada con 2 ml de agua ultrapura. Se añadió 2 ml del extracto de Glucosinolatos y se acondicionó con 2 ml de una solución de 20 mM de acetato de sodio. Seguidamente se agregó 100 µl (25 mg/ml) de sulfatasa a la columna. Se conservó durante toda la noche a temperatura ambiente para permitir actuar a la sulfatasa sobre los glucosinolatos intactos. Los desulfoglucosinolatos se eluyeron con 4 ml de agua ultrapura, se pasó a través de un filtro de 0.22 µm (13 mm, Millipore Corporation, Billerica, MA) para el análisis HPLC.

Los desulfoglucosinolatos de la harina de maca negra seca y extruida se analizaron mediante UHPLC (Shimadzu, CBM-20A PDA NEXERA X2, Japón) se utilizó la columna Teknokroma Mediterranea SEA 18 (3 µm 10 x 0,3 cm). El volumen de inyección fue de 20 µL, la separación de los desulfoglucosinolatos se realizó a 28 °C con una velocidad de flujo de 0.5 ml/min., su elución se realizó por un sistema de gradiente de agua (A) y acetonitrilo/ agua (20:80, v/v, B). El tiempo total de corrida fue de 35 min con la siguiente gradiente: 98% de A durante 1 min, luego 35 min a 75% de A, y en 1 min de nuevo a 98% de A y volver a equilibrar durante 10 min. Los datos espectrales fueron registrados entre 200 y 700 nm. Se utilizó como estándar interno sinigrin y los desulfoglucosinolatos se identificaron por comparación de sus tiempos de retención y los espectros de absorción de glucotropaeolin como estándar externo y extractos purificados de col blanca, col roja y coliflor. La detección se realizó a 229 nm. GLs totales se expresaron como µmol g<sup>-1</sup> MS y determinada por la suma de todos los GLs individuales.

**Contenido de aminoácidos.** Los aminoácidos esenciales se determinaron empleando cromatografía líquida de alta performance, que consistió en tomar muestra desgrasada que fueron hidrolizadas en solución de HCL (6N) durante 24 horas, luego se evaporó y se diluyó en tampón citrato (pH 2,2). Para la identificación de aminoácidos se realizó en columna de intercambio iónico y se detectó haciendo reaccionar con ninhidrina, según lo descrito por Spackman<sup>18</sup>.

**Valor Biológico.** Se determinó en el bioterio del laboratorio de Evaluación nutricional de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Se empleó 44 ratas albinas (*Rattus norvegicus*) de 23 días de edad, se evaluaron la harina de maca negra extruida (ME) y la mezcla de Hojuelas de avena con harina de maca negra extruida (AME), las dietas se formularon de acuerdo a lo indicado en los métodos oficiales de la AOAC (1990)<sup>19</sup>, que indican que la ración debe contener 10% de proteína y adicionales de vitaminas y minerales para completar la dieta. Se evaluó el PER (Relación de eficiencia proteica), BV (Valor biológico aparente) y DA (digestibilidad aparente), para ello se controló los pesos al inicio del experimento, durante el experimento y al final, también se controló peso de alimento ingerido, nitrógeno ingerido, nitrógeno fecal, nitrógeno urinario, densidad de orina, en todas las ratas empleadas para el experimento. Durante todo el experimento los animales tuvieron libre acceso al alimento y al agua.

**Evaluación sensorial.** Se determinó mediante la aplicación de escala hedónica de 5 puntos, para determinar la preferencia entre tres muestras propuestas de la mezcla de Hojuelas de avena con harina de maca negra extruida (AME) en las proporciones 80:20; 85:15 y 90:10. Análisis Estadístico. Los análisis se realizaron por triplicado, fueron analizados estadísticamente empleando el análisis de varianza, se empleó el software SSPS, con la finalidad de evaluar si el deshidratado y extrusión afectaron el contenido de glucosinolatos, al encontrar diferencias ( $p < 0,05$ ), se realizó la comparación de medias de tukey. Los resultados de la evaluación sensorial se procesaron mediante la prueba de Friedman y se realizó comparaciones con un nivel de significancia de 5%, se empleó el programa Infoestat.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Composición química de la harina de maca negra deshidratada y extruida

En la tabla 1, se presenta la composición química de la harina de maca negra deshidratada y harina de maca negra extruida. El contenido de proteína, grasa, fibra cruda, ceniza y carbohidratos presentan ligera disminución por efecto del proceso de extruido, esto se puede atribuir al incremento de humedad en la maca negra deshidratada para someter a la extrusión. El componente que resalta tanto en maca negra sin extruir y extruida es la proteína de 13,2% y 11,6% respectivamente, estos valores son similares a lo reportado para maca negra por Shimabuku<sup>20</sup> 13,55% y menor a lo reportado por Chen *et al.*<sup>4</sup> 19,16%, mientras que, para maca amarilla cultivada en china, Li *et al.*<sup>21</sup> reporto 13,42% y Chen *et al.*<sup>4</sup> para maca amarilla cultivada en Perú fue de 9,56%. El contenido de grasa (0,63%) es mayor a lo reportado por Shimabuku<sup>20</sup> 0,41% y menor a lo reportado por Chen *et al.*<sup>4</sup> 0,93% ambos para maca negra y el contenido de ceniza (4,86%), presenta valor similar a lo reportado por Shimabuku<sup>20</sup> 4%. Las diferencias encontradas son debido al lugar de procedencia, al respecto Cheng *et al.*<sup>4</sup> refiere que el lugar de cultivo y color del hipocótilo influyen en la composición, sobre todo el contenido de proteína.

Con respecto a los contenidos de minerales (Tabla 1) muestra ligera variación en las muestras de maca negra sin extruir y extruida, el contenido de calcio encontrado (0,27%) es mayor

al que reporta Shimabuku<sup>20</sup> 0,22% y menor a lo reportado por Cheng *et al.*<sup>4</sup> 0,45%, ambos en maca negra y para maca amarilla Li *et al.*<sup>21</sup> reportan un valor mayor 1,37%. El contenido de fósforo (0,32%) es menor a lo encontrado por Shimabuku<sup>20</sup> 0,34% en maca negra. El contenido de hierro hallado (33,33 mg /100 g) es superior a lo reportado por Shimabuku<sup>20</sup> de 8,22 mg/100 g y por Chen *et al.*<sup>4</sup> 5,8 mg/100 g , ambos para maca negra, también es superior a lo encontrado por Li *et al.*<sup>21</sup> en maca amarilla 8,24 mg/100 g<sup>21</sup>.

Por otro lado los valores encontrados de minerales en harina de maca negra extruida al ser comparados con los requerimientos de minerales indicados por la FAO/WHO,<sup>22</sup> considerando 100 g de harina de maca negra extruida, para el caso del calcio que contiene 0,34% (340 mg /100 g), llegaría a cubrir el requerimiento de calcio de un niño de 9 años (500 mg / día<sup>24</sup>) en un 49%, para un adolescente (1300 mg / día<sup>22</sup>) en un 26% y en para adultos (100 mg / día<sup>22</sup>) en 34% . En el caso de hierro la harina de maca negra extruida contiene 30,71 mg /100 g, esto llegaría a cubrir los requerimientos de niños de 7 a 10 años (17,8 mg / día<sup>22</sup>) en 100%, en adolescentes hombres (37,6 mg /día<sup>22</sup>) en 82%, en adolescentes mujeres (62 mg / día<sup>22</sup>) en 50%, en hombres adultos (27,4 mg /día<sup>22</sup>) en 100% y en mujeres adultas (58,8 mg / día<sup>22</sup>) llegaría a cubrir el 52%. Y en el caso del contenido de fósforo en 100 g de harina de maca extruida hay 0,31% (310 m /100 g) el cual cubre el requerimiento de niños de 9 años (630 mg / día<sup>23</sup>) en 49% y de adultos (700 mg /día<sup>23</sup>) en 44%. Debemos resaltar el alto contenido de hierro, que lo convierte en una fuente de este mineral que puede ser empleado en formulaciones alimenticias para contrarrestar la anemia en niños.

**Tabla 1.** Composición química de la maca negra deshidratada y extruida (g/100 g).

	Harina de maca negra deshidratada	Harina de maca negra extruida
Humedad	6,85 ± 0,02	13,63 ± 0,04
Proteína total (N x 6.25)	13,21 ± 0,02	11,62 ± 0,03
Grasa	0,63 ± 0,02	0,55 ± 0,02
Fibra cruda	5,10 ± 0,12	4,89 ± 0,05
Ceniza	4,86 ± 0,05	4,28 ± 0,08
Carbohidratos	69,35 ± 0,09	65,03 ± 0,12
Calcio	0,27 ± 0,05	0,34 ± 0,04
Fosforo	0,32 ± 0,04	0,31 ± 0,03
Hierro (mg/100g)	33,33 ± 0,20	30,71 ± 0,14

### Contenido de glucosinolatos en maca negra deshidratada y extruida

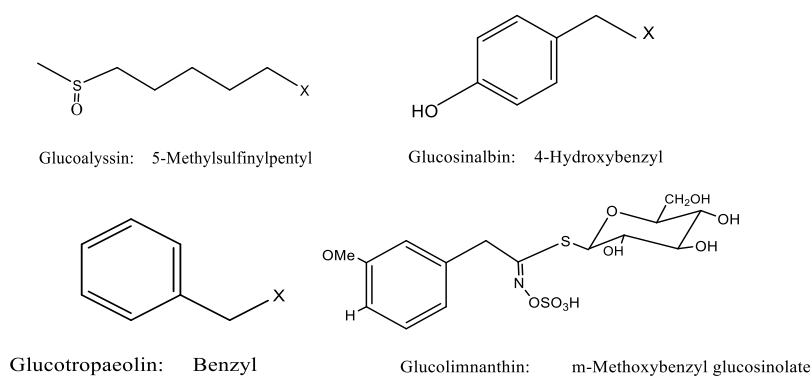
En tabla 2, se presenta el contenido de glucosinolatos en la harina de maca negra deshidratada y extruida, se encontró como glucosinolato predominante (figura 2) al glucotropaeolin (78.76% y 73.03% respectivamente), seguido del glucolimnathin (18.50% y 18.29 % respectivamente), considerados como marcadores moleculares<sup>14, 24</sup>. El secado natural y la extrusión disminuyen significativamente al glucotropaeolin (57.73% y 78.67%) y al contenido total de glucosinolatos (56,85%, y 77,14%), estos valores obtenidos son en tendencia coherentes con los encontrados por los autores mencionados. La presencia de glucoalissin se confirmó con el perfil de glucosinolatos de coliflor blanca<sup>25</sup>, ya que en vegetales Brassica,

debido a la diversidad de glucosinolatos y la no disponibilidad como estándares comerciales de varios de ellos, la identificación y cuantificación son realizadas utilizando estándares externos e internos, siendo las más utilizadas el sinigrin y el glucotropaeolin. Para su cálculo se recurrió a factores de respuesta relativos a los estándares externo o interno utilizados. Así también, Gratacós-Cubarsí et al.<sup>26</sup>, utilizando UPLC-DAD-MS/MS, reportaron glucoalisin de  $1.55 \pm 0.06$  a  $2.17 \pm 0.05$  mg equivalente de glucotropaeolin por Kg, así mismo, Park et al.<sup>27</sup>, utilizando HPLC and LC-MS, encontraron  $0.59 \pm 0.08$   $\mu$ mol equivalente de sinigrin por g de materia seca en coliflor blanca; en ambas técnicas, la detección fue tentativa, pero confirmada por su tiempo de retención y espectro de absorción UV de trabajos anteriores. Es razonable entonces recurrir a extractos purificados de coliflor blanca para según su tiempo de retención y espectro UV (229 nm) identificar la presencia de glucoalisin como se hizo en un trabajo anterior por Yábar et al.<sup>14</sup>.

**Tabla 2.** Composición química de la maca negra deshidratada y extruida (g/100 g).

Glucosinolato	Clase	Harina de maca negra deshidratada	Harina de maca negra extruida
Glucoalisin	Alifático	$0,08 \pm 0,01^a$	$0,17 \pm 0,03^b$
Glucosinalbin	Aromático	$0,32 \pm 0,02^a$	$0,34 \pm 0,00^a$
Glucotropaeolin	Aromático	$11,79 \pm 0,73^b$	$5,95 \pm 0,12^a$
Glucolimnantin	Aromático	$2,77 \pm 0,20^b$	$1,45 \pm 0,05^a$
<b>TOTAL</b>		$14,97 \pm 0,96^b$	$7,93 \pm 0,17^a$

Resultados promedio  $\pm$  SD (n=3). Las medias dentro una fila con diferentes letras en superíndice son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).



**Figura 2.** Estructura química de glucosinolatos<sup>27</sup>.

### Composición de aminoácidos de harina de maca negra extruida

En tabla 3, se presenta el contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales de la harina de maca negra extruida, los valores hallados son valores similares a los reportados por Cheng et al.<sup>4</sup> en maca negra y Li et al.<sup>21</sup> en maca amarilla encontraron como aminoácido más abundante a la valina y el aminoácido con menor concentración a la metionina. Los resultados obtenidos se encuentran cantidades muy interesantes ya que al ser comparados los requerimientos según (WHO/FAO/UNU)<sup>29</sup>, los aminoácidos fenilalanina + tirosina, treonina, triptófano y valina superan el 100%, mientras que los aminoácidos histidina 90%, isoleucina 80%, lisina 68% leucina 61% y el aminoácido de menor concentración es la metionina que cubre el 33,33%, convirtiéndose en el aminoácido limitante. Sin embargo, se debe considerar el alto contenido de los otros aminoácidos esenciales, por lo que es recomendable combinar con otro alimento que contiene metionina, de esta manera obtener una buena fuente de proteína vegetal.

### Evaluación sensorial de la mezcla avena y harina de maca negra extruida

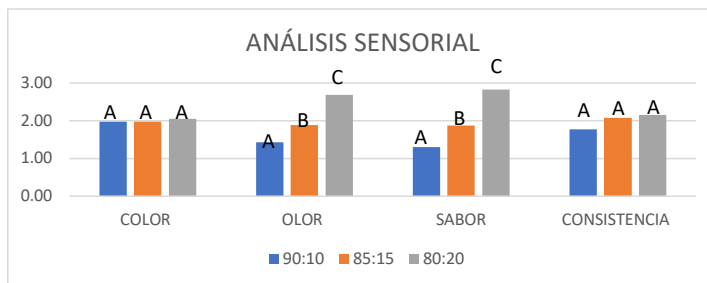
En la figura 3, se presentan los resultados de la evaluación sensorial de las mezclas propuestas avena: maca (80:20; 85:15 y 90:10). Presentando diferencias significativas en olor y sabor mientras que en color y consistencia son similares estadísticamente, considerándose como mejor mezcla a la proporción 80:20 y este resultado es corroborado por la evaluación sensorial de apreciación, que presentan características deseables y propias de la presencia de maca y exenta de sabores extraños.

**Tabla 3.** Aminoácidos de la proteína de harina de maca negra extruida y su evaluación de aminoácidos esenciales según requerimientos.

Aminoácidos	mg aminoácidos / g proteína (maca negra extruida)	Requerimientos* (mg aminoácidos / g proteína)	% de aminoácidos de la maca negra extruida / requerimientos*
<b>Esenciales</b>			
Histidina	14,34	16	90
Isoleucina	24,78	31	80
Leucina	37,16	61	61
Lisina	32,74	48	68
Metionina	7,96	24	33
Fenilalanina+tirosina	41,60	41	102
Treonina	29,20	25	117
Triptófano	7,61	6,6	115
Valina	40,71	40	102
Aminoácido Limitante			Metionina
<b>No Esenciales</b>			
Acido Aspártico	78,05		
Ácido Glutámico	135,40		
Alanina	42,65		
Arginina	138,05		
Glicina	35,40		
Hidroxiprolina	9,12		
Prolina	302,65		

\*Requerimientos de aminoácidos esenciales de niños de 3 a 10 años (WHO/FAO/UNU)<sup>29</sup>





\*Letras iguales no presenta diferencia significativa y letras desiguales presentan diferencia significativa

**Figura 3.** Resultados de evaluación estadística según Friedman.

### Evaluación Biológica

En tabla 4, se muestra el PER (Relación de Eficiencia proteica), VB (Valor Biológico) y DA (Digestibilidad Aparente) de la harina de maca extruida, presentan valores bajos a pesar de que contiene aminoácidos esenciales, esto se atribuye a que presentó como aminoácido limitante a la metionina con 7,96 mg/g, sin embargo esta harina al ser combinado con la avena cambia positivamente estos resultados el VB y el DA se incrementa en un 100% y 80% respectivamente, ello es debido a que la avena es un buen complemento de la harina de maca, ya que la avena contiene metionina que varía de 14,6 a 23,5 mg/g de proteína según indica Vilmane et al.<sup>30</sup> y los requerimientos de metionina es de 24 mg/g (WHO/FAO/UNU)<sup>29</sup>, similarmente ocurre con la leucina en la harina de maca negra extruida contiene 37,6 mg/g, al adicionar la avena este aminoácido mejora, debido a que la avena contiene de 68,3 a 67,5 g/g de proteína, según indica Vilmane et al.<sup>30</sup> y los requerimientos de leucina es de 61 mg/g (WHO/FAO/UNU)<sup>29</sup>, ello explicaría el incremento del VB Y DA.

El PER es un valor que indica el beneficio de la proteína, en el caso de la harina de maca presentó un valor negativo (-0,61), este valor se incrementó considerablemente al ser mezclado con la avena (2,1), por lo que podemos decir que como mezcla presenta un valor proteico alto y de buena calidad, ya que Friedman<sup>31</sup> indica que el valor PER por debajo de 1,5 es proteína de baja y mala calidad y por encima de 2,0 es proteína de buena y alta calidad, lo que nos indica, que la harina de maca como fuente proteica, no es recomendable consumir sola, a pesar de su alto contenido proteico 12%, esta debe ser combinada con otra fuente de aminoácido metionina y leucina, como es el caso de la avena.

Estos resultados obtenidos nos indica, que la combinación de la harina de maca negra extruida y hojuelas de avena es una mezcla ideal para una buena nutrición de todos los grupos etarios, especialmente de grupos más vulnerables como son los niños y ancianos, ya que es una buena fuente de proteína, hierro y fibra dietética, que puede emplearse en la alimentación diaria mediante formulaciones.

**Tabla 4.** Evaluación biológica de la proteína de harina de maca extruida y mezcla de avena con harina de maca extruida.

	Harina de maca negra extruida	Mezcla: Avena-Harina de maca extruida *
PER	-0,61	2,1
VB	31,96	63,49
DA	39,84	71,66

Resultados promedio  $\pm$  SD (n=3). \*Mezcla: Avena (80%) – Harina de maca negra extruida (20%)  
 PER: Relación de Eficiencia proteica; VB: Valor Biológico; DA: Digestibilidad aparente

### Composición química de mezcla Avena y Harina de maca extruida (80:20)

En la mezcla de avena y harina de maca extruida se observa variaciones con respecto a los valores encontrados en harina de maca negra extruida sola, se encontró un incremento considerable en el contenido de grasa y en el contenido de proteína presenta una pequeña disminución, esto debido a la incorporación de la avena con menor contenido proteico y mayor contenido de grasa, sin embargo, debemos resaltar que a pesar de la disminución del contenido proteico es un valor considerable como fuente proteica y de buena calidad por su composición de aminoácidos.

**Tabla 5.** Composición química de la mezcla de avena y harina extruida de maca negra.

componentes	Mezcla de Avena: Harina de maca negra*
Humedad	9,58 $\pm$ 0,05
Proteína total (N x 6,25)	11,62 $\pm$ 0,04
Grasa	8,5 $\pm$ 0,02
Fibra cruda	1,76 $\pm$ 0,04
Ceniza	2,03 $\pm$ 0,05
Carbohidratos	66,51 $\pm$ 0,06

\*Mezcla de avena (80%) y maca (20%) y Resultados promedio  $\pm$  SD (n=3).

### Calidad microbiológica de la mezcla avena y harina de maca negra extruida

En Tabla 6 se presenta la evaluación microbiológica indica que según Norma RM N° 591-2008/MINSA (norma que establece criterios microbiológicos) que indican que todos los resultados presentan valores inferiores a los mínimos permitidos, lo que indica que el producto presenta buena calidad sanitaria.

**Tabla 6.** Calidad microbiológica de la mezcla avena y harina de maca negra extruida (80:20).

Ensayo	n1	n2	n3	n4	n5
Aerobios Mesófilos (UFC/g)	40	60	50	20	30
Mohos (UFC/g)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
<i>Bacillus cereus</i> (UFC/g)	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>
Coliformes totales (NMP/g)	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
<i>Salmonella sp.</i> (en 25g)	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

## CONCLUSIONES

La harina de maca negra extruida es una buena fuente de nutrientes, destacando su alto contenido de Hierro, proteína y aminoácidos esenciales como treonina, triptófano y valina además contiene el componente bioactivo denominado glucosinolatos. Sin embargo, es deficiente en metionina por lo que presenta valores bajos de PER (relación de eficiencia proteica); VB (valor biológico) y DA (digestibilidad aparente), pero al combinarse con la avena mejora significativamente estos valores, el VB se incrementa en 100% y DA en 80%. Por lo que se recomienda que para un mejor aprovechamiento de la proteína proveniente de la maca negra debe consumirse en forma combinada con avena.

## AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento al PNIA por el financiamiento de esta investigación, igualmente se agradece a la asociación de productores de maca negra “Sierra morena” de Pasco -Perú, por facilitar la maca negra para la investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zhang L, Li G, Wang S, Yao W, Zhu F. Physicochemical properties of maca starch. *Food Chem.* 2017; 218: 56 - 63.
2. Flores HE, Walker TS, Guimaraes RL, Pal Bais H, Vivanco JM. Andean root and tuber crops: Underground rainbows. *Hortiscience.* 2003; 38: 161 - 167.
3. Zhang J, Tian Y, Yan L, Zhang G, Wang X, Zeng Y, et al. Genome of Plant Maca (*Lepidium meyenii*) Illuminates Genomic Basis for High-Altitude Adaptation in the Central Andes. *Mol Plant.* 2016; 9: 1066 - 1077.
4. Chen L, Li J, Fan L. The Nutritional Composition of Maca in Hypocotyls (*Lepidium meyenii* Walp.) Cultivated in Different Regions of China. *J Food Qual.* 2017; 1: 1 - 8.
5. Clément C, Diaz Grados DA, Avula B, Khan IA, Mayer AC, Ponce DD, et al. Kreuzer M. Influence of colour type and previous cultivation on secondary metabolites in hypocotyls and leaves of maca (*Lepidium meyenii* Walpers). *J Sci Food Agric.* 2010; 90(5):861-869.
6. Meissner HO, Mscisz A, Mrozikiewicz M, Baraniak M, Mielcarek S, Kedzia B, Piatkowska E, Jolkowska J, Pisulewski P. Peruvian Maca (*Lepidium peruvianum*): (I) phytochemical and genetic differences in three Maca phenotypes. *Int J Biomed Sci.* 2015; 11: 131-145.
7. Wang S, Fan Z. Chemical composition and health effects of maca (*Lepidium meyenii*). *Food Chem.* 2019; 288: 422 - 443.
8. Bai N, He H, Roller M, Lai Ch, Bai L, Pan M. Flavonolignans and Other Constituents from *Lepidium meyenii* with Activities in Anti-inflammatory and Human Cancer Cell Lines. *J Agric Food Chem.* 2015;63(9):2458-63.

9. Del Valle MJ, Pumarola T, Alzamora GL, Del Valle LJ. Antiviral activity of maca (*Lepidium meyenii*) against human influenza virus. *Asian Pac J Trop Med.* 2014; 7(Suppl): S415 - S420. doi:10.1016/s1995-7645(14)60268-6.
10. Rodrigo M, Valdivieso R, Suarez S, Oriondo R. Disminucion del daño oxidativo y efecto hipoglicemiante de la maca (*Lepidium meyenii* Walp) en ratas con diabetes inducida por streptozotocina. *An Fac med.* 2011; 72(1): 7 – 11.
11. Wang W, Zhang F, Li Q, Chen H, Zhang W, Yu P, Zhao T, Mao G, Feng W, Yang L, Wu X. Structure characterization of one polysaccharide from *Lepidium meyenii* Walp, and its antioxidant activity and protective effect against H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-induced injury RAW264.7 cells. *Int J Biol Macromol.* 2018; 118: 816-833.
12. Mithen R, Dekker M, Verkerk R, Rabot S, Johnson I. Review: The nutritional significance, biosynthesis and bioavailability of glucosinolates in human foods. *J Sci Food Agric.* 2000; 80: 967 - 84.
13. Zhao J, Avula B, Chan M, Clement C, Kreuzer M, Khan I. Metabolomic differentiation of maca (*Lepidium meyenii*) accessions cultivated under different conditions using NMR and chemometric analysis. *Planta Medica.* 2012; 78: 90-101.
14. Yábar E, Pedreschi R, Chirinos R, Campos D. Glucosinolate content and myrosinase activity evolution in three maca (*Lepidium meyenii* Walp.) ecotypes during preharvest, harvest and postharvest drying. *Food Chem.* 2011; 127(4): 1576 - 1583.
15. AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist International. 17<sup>th</sup> Ed. Gaithersburg, MD, U.S.A.: Association of Official Analytical Chemists; 2000.
16. AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist International; 18th Ed. Gaithersburg, MD,U.S.A.: Association of Official Analytical Chemists; 2005.
17. Verkerk R, Dekker M, Jongen W. Post-harvest increase of indolyl glucosinolates in response to chopping and storage of vegetables. *J Sci Food Agric.* 2001; 81: 953-58.
18. Spackman DH, Stein WD, Moore S. Automatic recording apparatus for use in the chromatography of amino acids. *Anal Chemi.*1958; 30: 1190-1206.
19. AOAC. Official Methods of Analysis. Pepsin digestibility of animal protein feeds. USA. 15th Ed. Gaithersburg, MD,U.S.A.: Association of Official Analytical Chemists; 1990. 78-79.
20. Shimabuku VN. Composicion Química de *Lepidium meyenii* Walp. (maca): Comparando Procedencias y Colores del Órgano de Reserva. [Tesis para optar el título profesional de Licenciada en Química]. Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2017.
21. Li J, Chen L, Li J, Duan Z, Zhu S, Fan L. The Composition Analysis of Maca (*Lepidium meyenii* Walp.) from Xinjiang and Its Antifatigue Activity. *J Food Qual.* 2017; 1: 1-7.
22. FAO/WHO. Human Vitamin and Mineral Requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization. FAO/WHO expert consultation. Report of a joint FAO/WHO expert consultation. Bangkok, Thailand; FAO/WHO; 2001.
23. Macias - Tomei C, Palacios C, Mariño EM, Carias D, Noguera D, Chavez PJ. Valores de referencia de calcio, vitamina D, fósforo, magnesio y flúor para la población venezolana. *Arch Latinoam Nutr.* 2013; 63(4): 362 - 378.

24. Campos D, Chirinos, R, Barreto O, Noratto G, Pedreschi R. Optimized methodology for the simultaneous extraction of glucosinolates, phenolic compounds and antioxidant capacity from maca (*Lepidium meyenii*). *Ind Crops Prod.* 2013; 49: 747-754.
25. Cieślík E, Leszczyn'ska T, Filipiak-Florkiewicz A, Sikora E, Pisulewski PM. Effects of some technological processes on glucosinolate contents in cruciferous vegetables. *Food Chem.* 2007; 105(3): 976 - 981.
26. Almushayti A, Brandt K, Carroll M, Scotter M. Current analytical methods for determination of glucosinolates in vegetables and human tissues. *J Chromatogr A.* 2021;1643:462060. doi: 10.1016/j.chroma.2021.462060.
27. Gratacós-Cubarsí AM, Ribas-Agustí, García-Regueiro JA, Castellari M. Simultaneous evaluation of intact glucosinolates and phenolic compounds by UPLC-DAD-MS/MS in *Brassica oleracea L. var. Botrytis*. *Food Chem.* 2010; 121; 257–263.
28. Park M-H, Arasu MV, Park N-Y, Choi Y-J, Lee S-W, Al-Dhabi NA, et al. Variation of glucoraphanin and glucobrassicin: Anticancer components in *Brassica* during processing. *Food Sci Technol.* 2013; 33(4): 624-631.
29. WHO/FAO/UNU Expert Consultation. Protein and amino acid requirements in human nutrition. Report of Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. WHO Technical Report Series, No 935; 2007.
30. Vilmane L, Zute S, Straumite E, Galoburda R. Protein, amino acid and gluten content in oat (*avena sativa l.*) grown in Latvia. *Proc Latv Acad Sci B: Nat Exact Appl Sci.* 2015;69(4):170-177.
31. Friedman M. Nutritional Value of Proteins from Different Food Sources. *J Agric Food Chem.* 1996; 44(1): 6 - 29.